

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Porovnání pevnosti v tlaku dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a
smrku ztepilého**

Bakalářská práce

Autor: Přemysl Ryněš
Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Přemysl Ryněš

Dřevařství
Dřevařství

Název práce

Porovnání pevnosti v tlaku dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého

Název anglicky

Comparison of Compression Strength of Silver Fir, Grand Fir and Norway Spruce Wood

Cíle práce

Cílem práce je srovnání pevnosti v tlaku dřeva domácí jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) a introdukované jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) z lokalit v České republice. A dále srovnání se smrkem ztepilým (*Picea abies* (L.) Karst.), v současnosti nejvýznamnější hospodářskou dřevinou. Na základě výsledků posoudit možnou vzájemnou substituci a potenciál pro zpracovatelský průmysl.

Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o zkoumaných dřevinách, posuzované vlastnosti a faktorech, které ji ovlivňují.
- 2) Zajistit reprezentativní zkušební materiál uvedených dřevin pro provedení laboratorních experimentů.
- 3) Normalizovanými postupy stanovit pevnost v tlaku podél vláken a hustotu dřeva.
- 4) Zhodnotit především vliv dřeviny, případně pozice v kmeni a dalších faktorů na zkoumanou vlastnost, a z toho vyplývající dopad na potenciální využití dřeva.
- 5) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě. A dále porovnat dosažené hodnoty s údaji uvedenými v odborné literatuře.

harmonogram:

duben až říjen 2020 – zpracování literární rešerše

září až listopad – výroba zkušebních těles,

říjen až prosinec 2020 – měření a zpracování dat

leden až březen 2021 – tvorba vlastní práce

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

dřevo, mechanické vlastnosti, jedle, variabilita

Doporučené zdroje informací

ALDEN, H. A. Softwoods of North America. Madison, WI: U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory, 1997. 151 s.

DINWOODIE, J. M. Timber: Its nature and behavior, Taylor & Francis New York, USA, 2000. 258 s.

NOVÁK, V. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D, KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood – structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, 1991. 497 s.

WAGENFÜHR, R. Holzatlas. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000. 707 s.

ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Berlin, 1989. 363 s.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

Elektronicky schváleno dne 13. 7. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Porovnání pevnosti v tlaku dřeva jedle bělokoré, jedle obrovské a smrku ztepilého“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Zeidlera, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 20.4.2021

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za vedení této práce, ochotu a četné rady. Dále pak Ing. Tomáši Holečkovi za odbornou pomoc při měření. A v neposlední řadě své rodině a přítelkyni za soustavnou podporu při studiu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce srovnává pevnosti v tlaku ve směru vláken introdukované jedle obrovské (*Abies grandis* Lindl.) s domácími dřevinami jedlí bělokorou (*Abies alba* Mill.) a smrkem ztepilým (*Picea abies* (L.) Karst.) z lokalit nacházejících se v České republice. Součástí metodiky je stanovení hustoty dřeva a pevnosti v tlaku ve směru vláken normalizovanými postupy a zhodnocení vlivu těchto vlastností na vertikální a horizontální pozici ve kmeni. Nejvyšších hodnot hustoty i pevnosti dosáhla jedle bělokorá, následována smrkem ztepilým a jedlí obrovskou. Vliv horizontální pozice ve kmeni na dané vlastnosti ukázal vesměs vzrůstající trend od dřeně k vnější části kmene, v případě vertikální pozice byl trend stoupající od báze ke koruně s výjimkou jedle bělokoré, kde se jednotný trend nepotvrdil. Z výsledků vyplývá, že jedle obrovská nepředstavuje odpovídající náhradu jedle bělokoré. Naopak v případě jedle obrovské a smrku ztepilého je substituce možná, s přihlédnutím k nižší hustotě a pevnosti v tlaku ve směru vláken jedle obrovské.

Klíčová slova:

dřevo, mechanické vlastnosti, jedle, variabilita

Abstract

This bachelor thesis is focused on the comparison of compression strength parallel to grain of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) to domestic woody species of silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from selected locations in the Czech Republic. Part of methodology consists of estimating wood density and compression strength parallel to grain using standardized procedures and evaluation of the influence of these properties depending on the vertical and horizontal position in the stem. The highest values of density and strength were reached by silver fir, followed by Norway spruce and giant fir. The influence of the horizontal position in the stem on the given properties showed a generally increasing trend from the pith to the outer part of the stem, in the case of the vertical position the trend was rising from the base to the top, with the exception of silver fir, where the united trend has not been confirmed. The results show that the giant fir is not suitable substitute for silver fir. In contrast, the substitution of the grand fir and Norway spruce is possible taking into account lower density and compressive strength parallel to grain of grand fir.

Keywords:

wood, mechanical properties, fir, variability

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod..... | 9 |
| 2. Cíle práce | 10 |
| 3. Charakteristika porovnávaných dřevin | 11 |
| 3.1. Jedle bělokorá..... | 11 |
| 3.2. Jedle obrovská | 13 |
| 3.3. Smrk ztepilý | 16 |
| 3.4. Zkoumané vlastnosti..... | 19 |
| 3.4.1. Hustota | 19 |
| 3.4.2. Pevnost v tlaku | 20 |
| 3.4.3. Faktory ovlivňující pevnost dřeva v tlaku..... | 21 |
| 4. Metodika | 23 |
| 4.1. Vzorky | 23 |
| 4.2. Stanovení hustoty dřeva | 25 |
| 4.3. Zkouška pevnosti v tlaku..... | 25 |
| 4.4. Zpracování a vyhodnocení dat | 26 |
| 5. Výsledky a diskuse | 28 |
| 5.1. Výsledky a porovnání hustoty zkoumaných dřevin | 28 |
| 5.2. Výsledky a porovnání pevnosti v tlaku zkoumaných dřevin | 37 |
| 5.3. Možná vzájemná substituce zkoumaných dřevin | 49 |
| 6. Závěr | 50 |
| 7. Seznam použitých zdrojů..... | 51 |
| 8. Seznam grafů, obrázků a tabulek..... | 54 |
| 9. Seznam příloh | 57 |
| 10. Přílohy | 59 |

1. Úvod

Vzhledem k rozsáhlému úbytku jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) z území České republiky, ke kterému došlo v posledních desítkách let, je potřebné zaobírat se otázkou náhrady této dřeviny. V úvahu připadá jedle obrovská (*Abies grandis* Lindl.), introdukovaná do Evropy ze Severní Ameriky, která se řadí mezi rychle rostoucí dřeviny se značným ročním přírůstem dřevní hmoty. Výzkumy na jedli obrovské doposud prokázaly nižší hodnoty hustoty než u našich domácích dřevin, které mohou ukazovat i na nižší mechanické vlastnosti.

Tato práce by měla pomoci dále prohloubit poznání o jedli obrovské pěstované na území České republiky a jejích mechanických vlastnostech, zvláště pak o hustotě a pevnosti v tlaku ve směru vláken a vlivu některých faktorů na tyto vlastnosti v porovnání s jedlí bělokorou a naší nejzastoupenější dřevinou smrkem ztepilým (*Picea abies* (L.) Karst.).

2. Cíle práce

Tato bakalářská práce má za hlavní cíl srovnání hustoty a pevnosti v tlaku ve směru vláken domácí jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) s introdukovanou jedlí obrovskou (*Abies grandis* Lindl.) a dále srovnání těchto dřevin se smrkem ztepilým (*Picea abies* (L.) Karst.), naší nejvýznamnější dřevinou současnosti. A to na základě vzorků odebraných ze stromů pěstovaných na území České republiky.

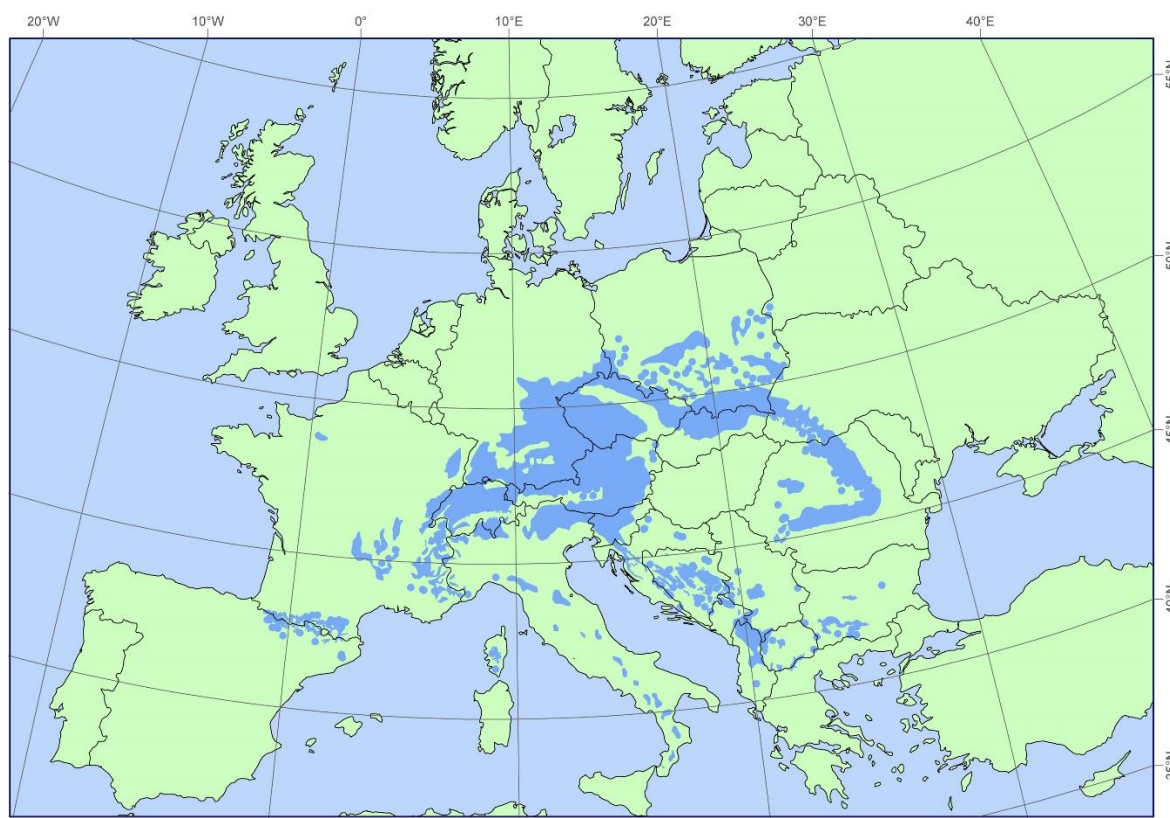
Dále pak zohlednění vlivu horizontální a vertikální pozice ve kmeni na tyto vlastnosti. A posouzení možné vzájemné substituce pro možnosti zpracovatelského průmyslu na základě získaných dat.

3. Charakteristika porovnávaných dřevin

3.1. Jedle bělokorá

Výskyt

Jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.) přirozeně roste na území jižní a střední Evropy. Vyskytuje se v nadmořských výškách 140 až 2100 m n.m. Na českém území je už od 19. století na ústupu. Zřejmě se jedná o následek holosečného hospodaření a rozsáhlého vysazování smrku, spolu s malou odolností jedle vůči klimatickým změnám a znečištěnému ovzduší (Musil, 2003). V České republice tvoří jedle 1,1 % současné skladby lesů, přirozeně by však měla podle rekonstrukce zastupovat 19,8 % skladby. Doporučená hodnota je pak 4,4 % z celkové skladby (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky, 2019).



Obrázek č.1 Rozšíření jedle bělokoré (www.euforgen.org)

Popis

Jedle bělokorá je jehličnatá dřevina s pravidelnou kuželovitou, v pozdějším věku válcovitou korunou a takřka válcovitým kmenem. Dorůstá výšky 30 až 60 metrů. Průměr kmene dosahuje až dvou metrů. Bělošedá borka je hladká, v pozdějším věku rozpukaná v podélném směru (Divíšek, 2010). Větve rostou v přeslenech, jsou vodorovné a obvykle nestejně dlouhé. Šišky dorůstají velikosti 10–14 cm, jsou vzpřímené, válcovitého tvaru a rozpadavé. Jehlice jsou 15–30 mm dlouhé s hřebenovitým uspořádáním. Dolní jehlice dosahují delších rozměrů než horní (Krüssmann, 1978).



Obrázek č.2 Habitus

Obrázek č.3 Jehličí (biolib.cz)

(databaze.dendrologie.cz)

Stavba

Dřevo jedle bělokoré má nažloutlé bělavé zbarvení s šedým až fialově šedým nádechem, povrch je bez lesku. Přejít mezi jádrem a bělí není zřetelný. Charakterizuje ji přítomnost vyvrátého dřeva a absence pryskyřičných kanálků, které se však mohou vytvořit při poranění. Mezi zvláštnosti patří možný výskyt mokrého jádra, které dosahuje podstatně vyšší vlhkosti než běžné vyvráté dřevo. Letokruhy jsou zřetelně ohraničené. Přejít mezi jarním a letním dřevem je pozvolný. Z pohledu tvrdosti a hmotnosti, řadíme jedli bělokorou mezi měkká a lehká dřeva (Zeidler, 2012).

Využití

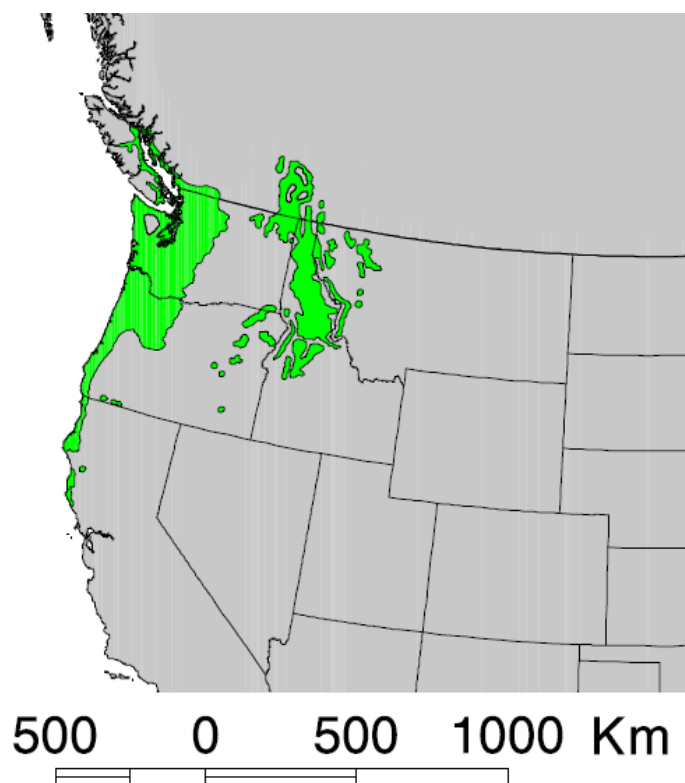
Dřevo jedle se podobá technickými vlastnostmi smrku, nedosahuje však takového lesku a lehce zešedne. Hůře se i hobluje. Historicky se více používalo jako dřevo stavební než řezivo. Například na výrobu vzpěr v dolech, jelikož vydává charakteristický zvuk před zlomením, který sloužil jako varování. Dále se používá na vodní stavby, protože pod vodou je více trvanlivé než na vzduchu. Tenčí sortimenty jedle mohou trpět na letokruhovou odlupčivost a vypadávání suků, takže i v oblastech s dostatkem jedlového dřeva se zpravidla upřednostňuje smrk. Dodnes se jedle pěstují jako vánoční stromky (Musil, 2003).

3.2. Jedle obrovská

Výskyt

Jedle obrovská (*Abies grandis* Lindl.) se přirozeně vyskytuje v Severní Americe. Zaujímá území severozápadního pobřeží USA (státy Montana, Idaho, Washington a Kalifornie) a Kanady (Britská Kolumbie) (Alden, 1997). Roste ve výškách od 0 m n.m. až 1500 m n.m. na jihozápadě, respektive po 1830 m n.m. ve vnitrozemí. Vyhledává půdy s dostatečnou vlhkostí (Musil, 2003).

Na území dnešní České republiky byla introdukována pravděpodobně mezi lety 1862 až 1863 (Fulín, 2015). V roce 2006 byla jedle obrovská zastoupena v českých lesích na 4808,52 ha plochy, což činí 0,04 % celkové porostní plochy (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství ČR 2006, 2007).



Obrázek č.4 Rozšíření jedle obrovské (enacademic.com)

Popis

Jedle obrovská patří mezi rychle rostoucí jehličnaté dřeviny. Ve svém přirozeném prostředí dosahuje průměrných výšek 42,67 m a průměru 1,22 m, dokáže však dorůst až do výšky 76,2 m, respektive průměru 1,52 m (Alden, 1997). Jedná se tak o největší jedli vůbec (Krüssmann, 1978).

Může tak i v podmínkách České republiky dosahovat nadprůměrné produkce dřevní suroviny. Naše dřeviny dokáže předstihnout ve 30 letech věku až o 100 % hmoty. Problémem pěstování v Evropě je však malá odolnost proti dřevokazné houbě Václavce.

Kmen jedle obrovské je dlouhý a válcovitý, koruna je kuželovitá, v dospělosti kopulovitá. V mládí se na hladké kůře tvoří pryskyřičné puchýřky (Musil, 2003). V pozdějším věku tmavohnědá borka rozpuká. Jehlice jsou hřebenitě uspořádané s vodorovným rozložením, 25–40 mm dlouhé. Na lící straně zelené, lesklé, z rubové strany s dvěma bílými pruhy. Šišky dosahují délky 5–10 cm, jsou válcovitého tvaru, zelenohnědé, dozralé hnědé barvy (Krüssmann, 1978).



Obrázek č.5 Habitus

Obrázek č.6 Jehličí (databaze.dendrologie.cz)

(databaze.dendrologie.cz)

Stavba

Barva dřeva jedle obrovské může být takřka bílá až červenohnědá. Bělové a jádrové dřevo se nedá okem rozpoznat. Po vysušení je tvarově stabilní. Řadí se mezi měkká a lehká dřeva. Snadno se lepí a je těžko impregnovatelná (Alden, 1997). Přírozená odolnost proti biotickým činitelům i povětrnostním podmínkám je malá. Vyskytovat se může taktéž vodnatost, která má negativní vliv na kvalitu dřeva. Vlastnosti jedle obrovské nedosahují kvalit tuzemských druhů. Za výhodu je však možné označit, na rozdíl od smrku, absenci pryskyřičných kanálků, a tedy lepší výchozí stav pro povrchové úpravy (Zeidler, 2010).

Využití

Dřevo jedle obrovské se používá například jako řezivo, k výrobě překližek, trámů, sloupků, částí nábytku, beden na čerstvé ovoce a zeleninu, forem na beton nebo se zpracovává na buničinu (Alden 1997). Na Severozápadě USA se mladé kusy uplatňují též jako vánoční stromky. Díky atraktivitě habitu nachází uplatnění i v sadovnictví (Musil, 2003).

3.3. Smrk ztepilý

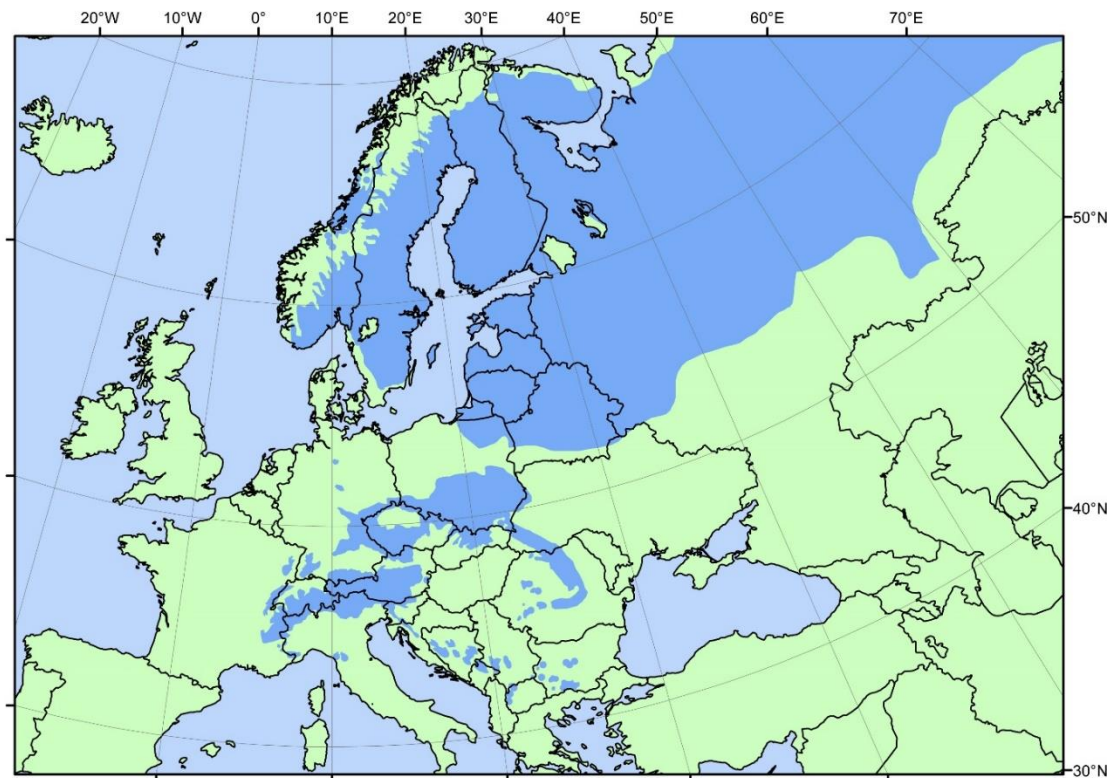
Výskyt

Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.) je rozšířený na území severní, střední a jihovýchodní Evropy. Předpokládá se, že dříve bylo toto teritorium spojené, dnes se dá toto území rozdělit na dvě oblasti oddělené tzv. vnitropolskou disjunkcí, oblast Středoevropsko-balkánskou a Severoevropskou.

Zatímco Středoevropsko-balkánská oblast je spíše horská a ostrůvkovitá a sleduje jednotlivá pohoří, Severoevropská oblast je co do plochy mnohem větší a smrk se zde vyskytuje souvisleji, v nižších nadmořských výškách na pahorkatinách a rozsáhlých nížinných rovinách.

Na severu je hranice výskytu smrku dána minimální vegetační dobou, při které je smrk ještě schopný se množit, tato hranice se nachází v nížinách severní Skandinávie. Na severovýchodě ohraničuje areál smrku ztepilého přibližně spojnice Finského zálivu a ruského města Tula. Východní hranice ve Východních Karpatech a pohoří Rodopy je dána zřejmě nedostatkem vláhy. Na západě je přirozený výskyt ohraničen ve Francii v Západních Alpách, v severské části pak pokračuje v západní Skandinávii, kde dosahuje pobřeží Atlantského oceánu v oblasti norského Trondheimu. Jižní hranice protíná ostrůvkovitě Přímořské Alpy až takřka k Monaku a Nice, dále pak Severní Apeniny a pokračuje Dinárskými pohořími na Balkáně jihovýchodním směrem až do severní Albánie a Makedonie. Výskyt v Bulharských horách je ostrůvkovitý se značnými vzdálenostmi od sebe. Nejjižněji se smrk ztepilý vyskytuje v Řeckých Rodopech. Jižní hranice je hranicí sucha. Smrk ztepilý roste ve výškách od hladiny moře až po horní hranici lesa, tedy zhruba 2300 m n.m. (Musil, 2003).

V roce 2019 zaujímal v českých lesích smrk 49,5 % z celkové plochy porostní půdy, což odpovídá 1 292 461 ha plochy, to z něj dělá náš nejzastoupenější jehličnan a dřevinu vůbec. (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky, 2020). Smrk je u nás aktuálně zastoupený asi 5x více, než byl před 200 lety, na úkor jedlobukových, bukových a dubových lesů (Musil, 2003).



Obrázek č.7 Rozšíření smrku ztepilého (euforgen.org)

Popis

Smrk ztepilý je nejdůležitější hospodářskou dřevinou střední a severní Evropy. K jeho vysazování dochází i mimo území původního rozšíření. Jedná se o nejvariabilnější druh svého rodu. Dosahuje výšky 30-50 m, kmen je válcovitého tvaru, často s výraznými kořenovými náběhy. Kůra bývá tenká, šupinatá, světle hnědé barvy, která se ve stáří mění na šedou. Variabilita kůry i borky je velká, obvykle se vyskytují typy s borkou tenkou nebo silnou. Koruna je pyramidální, pravidelně přeslenitá, větvení je velmi variabilní (Musil, 2003).

Známý jsou například typy s větvemi vodorovně odstávajícími, nebo naopak prohnutými směrem k zemi (Krüssmann, 1978). Šišky jsou válcovitého až vejcovitého tvaru, délky 10-16 cm a šíře 3-4,5 cm. Jejich barva je nazelenalá, méně často červenofialová, po dozrání tmavě hnědá. Šupiny jsou velmi proměnlivé, od dlouze vytažených se zúženou špicí, přes eliptické, téměř okrouhlé až po vejčité (Musil, 2003). Jehlice jsou hřebenovitě uspořádané, délky 1-2 cm (Krüssmann, 1978). Jehlice rostoucí na slunci mají přibližně čtvercový průřez, zatímco jehlice rostoucí ve stínu

mají průřez plošší. Kořenový systém u smrku ztepilého je plochý, nedostatečně zakotvený v půdě, snadno tedy podlehne bořivým větrům (Musil, 2003).



Obrázek č.8 Habitus

Obrázek č.9 Jehličí (databaze.dendrologie.cz)

(databaze.dendrologie.cz)

Stavba

Dřevo smrku má bělavou až nažloutlou barvu, povrch je lesklý. Jádru není znatelné, dobře rozlišitelné jsou naopak hranice letokruhu. Přejít mezi jarním a letním dřevem je pozvolný. Charakteristický je i výskyt pryskyřičných kanálků a vyzrálého dřeva. Pryskyřičné kanálky jsou však těžko rozlišitelné, na podélném řezu jsou patrné jako tenké čárky, na příčném pak jako světlé tečky v letním dřevu. Tvrdostí a hmotností se řadí mezi měkká a lehká dřeva (Zeidler, 2012). U smrku se také může vyskytovat takzvané lískovcové dřevo, charakterizované zvlněním letokruhů v radiálním směru na příčném řezu (Stavba Dřeva, 2002).

Využití

Smrkové dříví má široké uplatnění. Používá se jako dřevo konstrukční, stavební, truhlářské nebo nástrojářské. V papírenství se používá smrková vláknina, která patří k nejlepším surovinám papírenského průmyslu. Smrková mlazina poskytuje zdroj

vánočních stromků. Klest nachází uplatnění v zahradnictví (Musil, 2003). Ceněné je také smrkové rezonanční dřevo používané na výrobu hudebních nástrojů, toto dřevo se vyznačuje pravidelným uspořádáním letokruhů (Zeidler, 2012). Různé kultivary, lišící se vzrůstem a zbarvením jehlic, se vysazují v zahradách a parcích (Koblížek, 2006).

3.4. Zkoumané vlastnosti

3.4.1. Hustota

Hustota dřeva vyjadřuje hmotnost jeho objemové jednotky. Zpravidla se vyjadřuje v jednotkách $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, popřípadě $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Významně ovlivňuje fyzikální i mechanické vlastnosti dřeva. Například u dřevin s těžkým dřevem dosahuje pevnost a tvrdost vyšších hodnot než u dřevin s dřevem lehkým. Z hodnot hustoty dřeva tak můžeme velmi dobře posuzovat vlastnosti dřeva. Vzhledem k hygroskopicitě dřeva je však obtížnější správnou hodnotu hustoty určit, na rozdíl od jiných materiálů.

Při určování hustoty dřeva velmi záleží na vlhkostním stavu. Nejčastěji rozlišujeme tři vlhkostní stavy:

- a) Hustotu dřeva v suchém stavu
- b) Hustotu dřeva vlhkého tj. $W > 0 \%$
- c) Hustotu dřeva při 12% vlhkosti

Hustota dřeva v suchém stavu se používá pro teoretické výpočty a srovnávání. Výpočet probíhá podle vzorce.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$$

Hustota dřeva při konkrétní vlhkosti probíhá podle následujícího vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$$

Hmotnost i objem dřeva musí být zjištěn při stejné vlhkosti.

Hustota dřeva při 12% vlhkosti je hodnota s kterou pracují platné normy. Důvodem je, že 12% vlhkosti dosáhne dřevo při dlouhodobém vystavením běžným

podmínkám temperované místnosti, za které se považuje teplota 20 °C a 65% vlhkost vzduchu.

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

V případě našich domácích dřevin je interval hustot poměrně rozsáhlý. Podle hustoty při 12% vlhkosti dělíme dřeva do tří skupin.

Tabulka č.1: Rozdělení dřev podle hustoty při 12 % vlhkosti (Gandelová, 2002)

| | |
|---|--|
| dřeva s nízkou hustotou ($\rho_{12} < 540 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | borovice, smrk, jedle, topol, lípa, vrba, olše, osika, douglaska, jírovec |
| dřeva se střední hustotou ($\rho_{12} = 540 - 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | modřín, bříza, buk, dub, ořešák, jilm, platan, jabloň, jasan, jeřáb, třešeň, kaštanovník |
| dřeva s vysokou hustotou ($\rho_{12} > 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | habr, moruše, akát, hrušeň |

Ve světě se však můžeme setkat i s exotickými dřevinami s extrémními hodnotami hustoty v suchém stavu. Za nejlehčí dřevo pokládáme dřevo balzy $\rho_0 = 130 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a naopak za nejtěžší dřevo guajaku $\rho_0 = 1360 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Požgaj, 1997).

3.4.2. Pevnost v tlaku

Pevností dřeva se rozumí odolnost dřeva proti jeho trvalému porušení. Konkrétní hodnoty pevnosti jsou vyjádřeny napětím, při kterém dojde k porušení tělesa. Toto napětí se označuje napětím na mezi pevnosti. Teoretická pevnost dřeva se nedá vypočítat, a je tak ke zjištění skutečné pevnosti dřeva potřeba vykonat zkoušky, při kterých sledujeme skutečnou hodnotu napětí při porušení tělesa. Zjištěné hodnoty pevnosti jsou však závislé na metodice zkoušení, z tohoto důvodu jsou zkušební postupy normalizované a probíhají za definovaných podmínek. Důležité je tedy především dodržovat správnou velikost tělesa, postup zkoušky a výpočet výsledků.

Pevnost dřeva v tlaku lze rozdělit podle směru působící síly k orientaci vláken na pevnost ve směru vláken a pevnost napříč vlákny, která se dále dělí na pevnost ve směru radiálním nebo tangenciálním (Požgaj, 1997).

Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken

Pevnost v tlaku ve směru vláken je nejdůležitější tlakovou pevností. Vzhledem k poměrně vysokým hodnotám této pevnosti, má dřevo zatěžované ve směru vláken mnoho využití, jako například piloty, báňské vzpěry, nosníky a podobně.

Při působení tlaku ve směru vláken dochází k deformaci, která se projevuje zkrácením tělesa. Charakter této deformace je závislý na jakosti, stavbě, hustotě a v neposlední řadě vlhkosti dřeva. Zatímco u vzorku suchého dřeva s vysokou hustotou, dojde ke smyku a rozdělení tělesa na dvě části, u vzorku ze dřeva vlhkého a o nízké hustotě, dojde k vybočení stěn a otláčení vláken na čelních plochách.

Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken se počítá pomocí vzorce:

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{a \cdot b} \quad [\text{MPa}]$$

Kde F_{\max} představuje sílu na mezi pevnosti [N] a a,b příčné rozměry tělesa [mm] (Požgaj, 1997)

3.4.3. Faktory ovlivňující pevnost dřeva v tlaku

Vlhkost dřeva

Při pokácení stromu se vlhkost dřeva pohybuje v rozmezí 30 až 300 %. Pro běžné použití dřeva by se jeho vlhkost měla pohybovat zhruba v rozmezí 8 až 25 % v závislosti na rovnovážné vlhkosti daného prostředí. Obecně při vzrůstající vlhkosti do meze hygroscopicity se pevnostní a pružnostní vlastnosti dřeva snižují, nad mezí hygroscopicity už je změna pevnosti bezvýznamná. Při změně vlhkosti o 1 %, pokud se bavíme o vodě vázané, se pevnost dřeva změní zhruba o 3 až 4 % (Požgaj, 1997).

Tlaková pevnost ve směru vláken v rozmezí $w = 0$ % až vlhkost na mezi hygroscopicity klesá s přibývajícím vlhkostí. Pokud dřevo dosáhne vlhkosti na mezi hygroscopicity, jeho mez pevnosti se zmenší 3,5krát a jeho celková deformace takřka 7krát (Gandelová, 2002).

Teplota dřeva

Vzrůstající teplota má negativní vliv na pružnost a pevnost dřeva. Pokud dřevo vystavíme krátkodobě teplotám do 70 °C, pokles jeho pevnostních vlastností je pouze dočasný, při vyšších (nad 100 °C) a déle trvajících teplotách však dochází ke změnám chemického složení a následně k trvalým změnám v jeho struktuře, to vede k nevratným změnám v jeho pevnosti. Při teplotách nad 200 °C dřevo výrazně křehne a dochází k pyrolýze.

Při působení tepla na dřevo je nutné brát v potaz taktéž vlhkost, protože pokud roste nejen teplota ale i vlhkost, pevnost dřeva se snižuje více než při působení jen jednoho z těchto faktorů (Požgaj, 1997).

Směr vláken

Točitost, neboli odklon dřevních vláken je jejich závitnicovitý průběh, který je patrný na bočním povrchu kulatiny. Tato vada snižuje pevnost dřeva. Míra snížení pevnosti závisí na úhlu odklonu vláken. Čím větší je hodnota odklonu, tím nižší je pevnost dřeva (Požgaj, 1997).

Točitost může mít levostranný nebo pravostranný průběh, popřípadě může probíhat oběma směry. Míra odklonu obvykle roste se stářím stromu. Největší výskyt se pozoruje u řidších porostů nebo porostů, jejichž kmen má dobrý přístup ke slunci, například na stráních nebo v alejích. Pokud točitost překročí hodnotu 5 % na 1 m délky, považuje se z pohledu pilařského zpracování za vadu. Dřevo s touto vadou není možné používat na nosné části (Lexikon vad dřeva, 2010).

Hustota

Vzhledem k tomu, že množství vody v buněčných stěnách dřeva ovlivňuje mechanické vlastnosti, je nutné vyloučit vliv vody na dřevo přepočtem na 12%, popřípadě 0% vlhkost. Hustota nezávisí pouze na množství dřevní hmoty na jednotku objemu, ale i na konkrétní stavbě dřeva.

Při tlaku ve směru vláken platí mezi moduly pružnosti a hustotou dřeva kladný lineární vztah. Platí, že pokud zvětšíme hustotu o 0,1 g.cm⁻³, zvětší se modul pružnosti o 1,9 až 4,4 %. Zvyšování hustoty se nejvíce projevuje u suchého dřeva, zatímco u dřeva s vlhkostí nad mezí hygroscopicity je rozdíl nepatrný (Požgaj, 1997).

Poloha

Hustota dřeva se mění v rámci pozice v kmeni jak ve vertikálním, tak horizontálním směru. Tento stav je způsobem rozdílnou funkcí jeho jednotlivých částí. V horizontální rovině zapříčiňuje variabilitu především nepravidelná šířka ročních kruhů a s tím související rozdílná hustota letního a jarního dřeva.

U smrku a některých dalších jehličnatých dřevin platí, že hustota roste se vzdáleností od středu kmenu. Ve vertikální rovině se při stejné šířce ročních kruhů snižuje podíl letního dřeva se vzrůstající výškou, platí tedy, že hustota dřeva obvykle klesá (Požgaj, 1997). Dalším faktorem ovlivňujícím rozprostření hustoty po výšce kmene je jádrové dřevo, které dosahuje větší hustoty a s výškou kmene se jeho objem zmenšuje (Tsoumis, 2009).

4. Metodika

4.1. Vzorky

Vzorky byly vymanipulovány celkově z 15 stromů ze dvou lokalit. Lokalitou č.1 je oblast Rožmitálu pod Třemšínem, odkud pochází 3 stromy jedle bělokoré a 3 stromy smrku ztepilého staré 116 let. Toto území se nachází v nadmořské výšce 590 m n.m. Z každého stromu byly odebrány 3 sekce, a to konkrétně z báze stromu, v 1/3 výšky a v 2/3 výšky stromu.

Tabulka č.2: Informace o stromech z lokality č.1

| | Střední tloušťka [cm] | Střední výška [m] |
|----------------|-----------------------|-------------------|
| Smrk ztepilý | 45,2 | 37,1 |
| Jedle bělokorá | 42,9 | 36,9 |

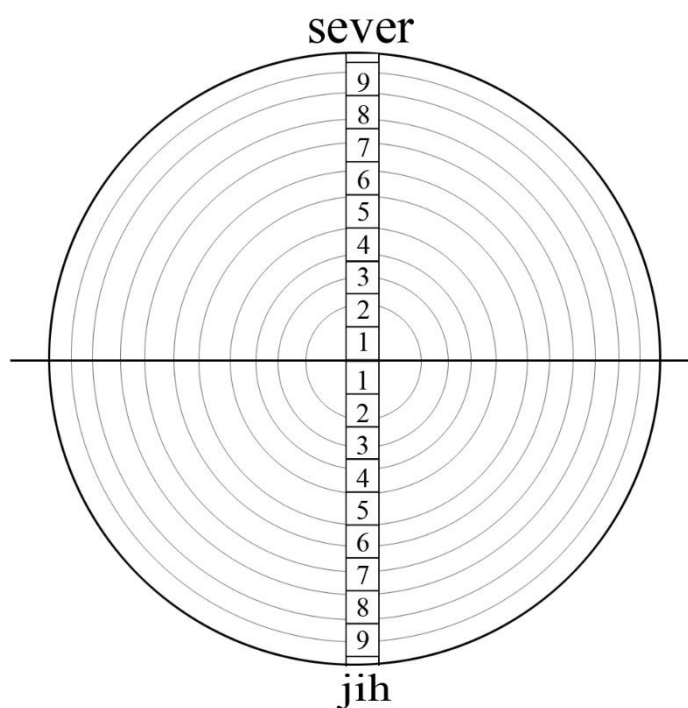
Lokalitou č.2 je oblast Kostelce nad Černými lesy, který se nachází v nadmořské výšce 400 m n.m. Odtud pochází 3 kusy jedle bělokoré, 3 kusy smrku ztepilého a 3 kusy jedle obrovské ve věku 55 let.

Tabulka č.3: Informace o stromech z lokality č.2

| | Střední tloušťka [cm] | Střední výška [m] |
|----------------|-----------------------|-------------------|
| Smrk ztepilý | 19 | 21 |
| Jedle bělokorá | 25 | 24 |
| Jedle obrovská | 17 | 17 |

V tomto případě byly z každého stromu odebrány dvě sekce, a to z báze a ve výšce cca 6 m.

Tyto sekce byly dále rozděleny na severní a jižní část, a každá tato část ještě na jednotlivá tělesa s označením 1 až 9, kdy jednotlivá čísla znázorňují vzdálenost od dřene, číslo 1 je nejbliže a 9 nejdále od středu.



Obrázek č.10 Znázornění rozdělení těles

4.2. Stanovení hustoty dřeva

Hustota se zjišťovala na 675 zkušebních tělesech podle normy ČSN 49 0108. Ke správnému určení hustoty bylo potřeba zjistit hmotnost a rozměry každého tělesa. Tělesa se vážila na laboratorní váze s přesností 0,01 g. Rozměry byly změřeny pomocí digitálního posuvného měřítka s přesností na 0,01 mm. Výpočet hustoty odpovídá vlhkostním podmínkám laboratoře a byl proveden pomocí vzorce:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} \cdot 10^6 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

kde ρ_w je hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] při dané vlhkosti W , m_w hmotnost zkušebního tělesa [g] a a_w, b_w, l_w jeho rozměry [mm]

Následný přepočet vlhkosti dřeva na 12 % proběhl pomocí vzorce:

$$\rho_{12} = \rho_w \cdot \left[1 - \frac{(1-K) \cdot (W-12)}{100} \right] \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

kde ρ_w je hustota dřeva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] o vlhkosti W , K je koeficient objemového sesychání při změně vlhkosti o 1 % ($K = 0,85$).

4.3. Zkouška pevnosti v tlaku

Zkouška pevnosti v tlaku ve směru vláken byla provedena podle normy ČSN 49 0110. Použito bylo stejných 675 vzorků, jako při stanovování hustoty. Jednalo se tedy o vzorky o rozměrech základny 20x20 mm a výškou 30 mm, rozměry byly měřeny digitálním posuvným měřítkem s přesností na 0,01 mm.

Vzorky byly poté vkládány do zkušebního stroje, kde byly po jednom zatěžovány s plynule se zvětšujícím zatížením při konstantní rychlosti. Doba zkoušky odpovídala $1 \pm 0,5$ minutě. Program stroje TIRA test potom zaznamenával automaticky naměřené hodnoty do tabulky. Z naměřených hodnot potom byla vypočtena mez pevnosti v tlaku pomocí vzorce:

$$\sigma_w = \frac{F_{\max}}{a \cdot b}$$

kde F_{\max} představuje sílu na mezi pevnosti [N] a a, b příčné rozměry tělesa [mm]

Vypočtená hodnota pevnosti v tlaku byla dále přepočtena na mez pevnosti v tlaku při vlhkosti 12 % podle vzorce:

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha_1 (w - 12)]$$

kde σ_w je pevnost v tlaku o vlhkosti v době měření, α_1 je opravný součinitel (0,04) a w je vlhkost v % v době měření

4.4. Zpracování a vyhodnocení dat

Data byla zpracována nástroji statistiky pomocí programu Microsoft Excel. Výsledné hodnoty jsou interpretovány pomocí grafů a tabulek. Byly použity následující statistické ukazatele:

Aritmetický průměr \bar{x} – součet všech hodnot dělený jejich počtem

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Medián \tilde{X} – prostřední hodnota řady pozorování, uspořádané podle velikosti

Minimum – minimální hodnota ze souboru

Maximum – maximální hodnota ze souboru

Směrodatná odchylka – míra rozptýlení hodnot od průměrné hodnoty, oproti rozptylu má tu výhodu, že je ve stejných měrných jednotkách jako zkoumaný statistický znak

$$S = +\sqrt{s^2}$$

Kde, s je směrodatná odchylka a s^2 je rozptyl

Variační koeficient – relativní charakteristika variability vztažená k průměru

$$V = \frac{s}{\bar{x}} 100 [\%]$$

Kde V je variační koeficient, s je směrodatná odchylka a \bar{x} je aritmetický průměr (Svatošová, 2007)

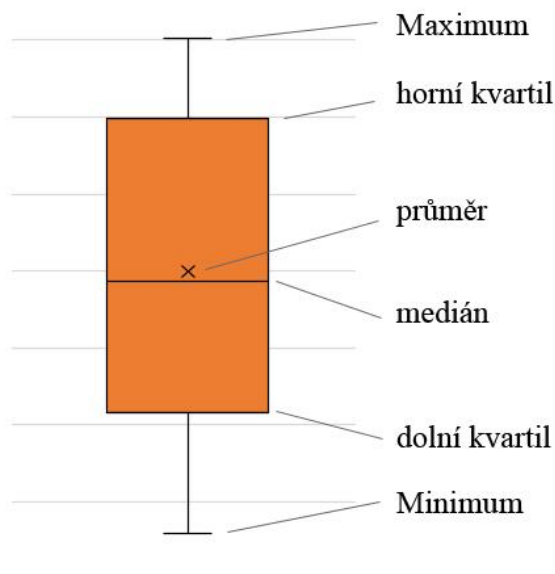
Korelační koeficient r – ukazuje, jak silný je lineární vztah mezi párovými daty. Může dosahovat hodnot:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Kdy kladné r = kladná lineární korelace, záporné r = negativní lineární korelace, r = 0 značí neexistující lineární korelaci. Zároveň platí, že čím je r blíže 1 nebo -1, tím silnější korelace je.

Koeficient determinace r^2 – ukazuje, jaký podíl rozptylu závislé proměnné se podařilo vysvětlit pomocí regrese (Zvára, 1989)

Dále byl pro grafickou prezentaci naměřených hodnot použit krabicový graf, jehož popis je vidět na obrázku č.11. Obdélník je nahoře ohraničený horním a dole dolním kvartilem, znak X vevnitř označuje polohu průměru a čára polohu mediánu. Čára vedoucí z obdélníku nahoru značí maximum, na opačné straně minimum.



Obrázek č.11: Krabicový graf

5. Výsledky a diskuse

5.1. Výsledky a porovnání hustoty zkoumaných dřevin

V grafu č.1, respektive tabulce č.4 je vidět rozptyl hustot při 12 % vlhkosti jednotlivých dřevin z lokality č.2. Nejvyšší průměrnou hustotu se podařilo naměřit u jedle bělokoré, následovanou smrkem ztepilým a jedlí obrovskou, která dosáhla nejnižší hodnoty a nejvyššího variačního koeficientu.

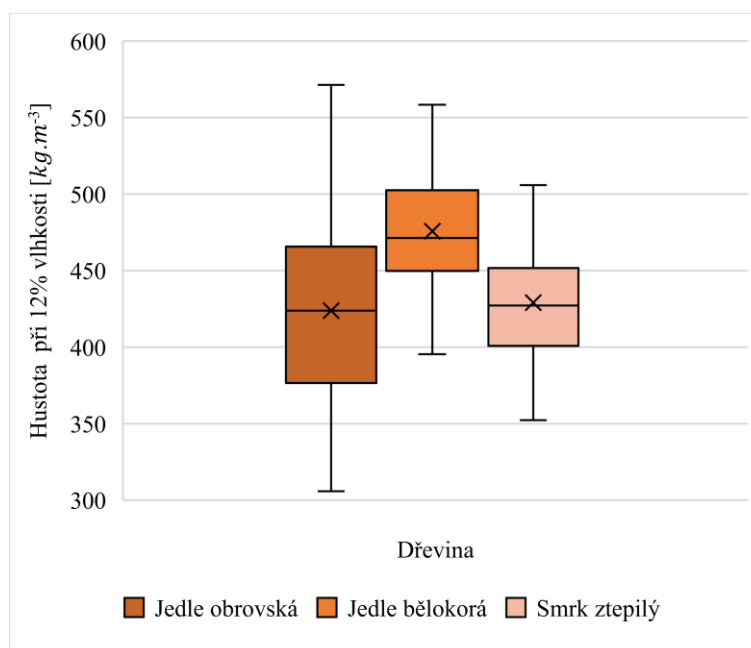
U jedle obrovské došlo k měření na 139 vzorcích, minimální hodnota hustoty činila 306 kg.m^{-3} , nejvyšší pak 602 kg.m^{-3} . Průměrná hustota vyšla 424 kg.m^{-3} s variačním koeficientem 14,0 %. Nedosahuje tak hodnoty 449 kg.m^{-3} , kterou udává Alden (1997) pro jedli obrovskou pěstovanou v místě původního výskytu. Srovnáme-li tuto naměřenou hodnotu s hodnotami naměřenými u jedle obrovské pěstované v České republice, mírně převyšuje hodnotu 405 kg.m^{-3} , kterou udává Lukášek et al. (2012) i hodnotu 410 kg.m^{-3} , kterou naměřil Zeidler et al. (2015), potažmo 403 kg.m^{-3} kterou naměřil taktéž Zeidler et al. (2015) v jiné své práci.

V případě jedle bělokoré došlo k měření hustoty na 93 vzorcích, minimální hodnota se zastavila na 395 kg.m^{-3} , maximální pak na 606 kg.m^{-3} . Průměrná hustota dosáhla 476 kg.m^{-3} a variační koeficient 8,3 %. převyšuje tak hodnotu 390 kg.m^{-3} , kterou udává Novák (1970) i hodnotu 450 kg.m^{-3} , kterou udává Wagenführ (2007).

Smrk ztepilý byl zastoupen 145 vzorky, výsledná průměrná hustota vyšla v tomto případě 429 kg.m^{-3} a variační koeficient 8,5 %. Minimum dosáhlo 352 kg.m^{-3} , maximum naopak 560 kg.m^{-3} . Naměřená hodnota je vyšší než hodnota udávaná Novákem (1970), který uvádí 400 kg.m^{-3} . To samé platí i v porovnání s Horáčkem (2017), který pro smrk ztepilý z území Beskyd naměřil hustotu 378 kg.m^{-3} , ovšem s nižším variačním koeficientem 6,3 %. Naopak vyšší hustotu 470 kg.m^{-3} udává Wagenführ (2007) a Sonderegger et al. (2007), který ve své práci naměřil 469 kg.m^{-3} .

Tabulka č.4: Hustota při 12% vlhkosti dřevin dle jednotlivých dřevin

| Dřevina | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|-----|-----------|-----|-----|----|-------|
| Jedle obrovská | 139 | 423 | 306 | 602 | 59 | 14,0 |
| Jedle bělokorá | 93 | 471 | 395 | 606 | 39 | 8,3 |
| Smrk ztepilý | 145 | 427 | 352 | 560 | 36 | 8,5 |



Graf č.1: Hustota při 12% vlhkosti u jednotlivých dřevin

Podíváme-li se blíže na jednotlivé stromy jedle obrovské (viz příloha č.1), je patrné, že strom č.2 vykazuje nejnižší průměrnou hustotu 419 kg.m^{-3} nejvyšší, naopak strom č.1 s hodnotou 434 kg.m^{-3} . Nejedná se o nijak dramatické rozdíly, žádný ze stromů zásadně svými hodnotami nevybočuje a soubor vykazuje konzistentní hodnoty.

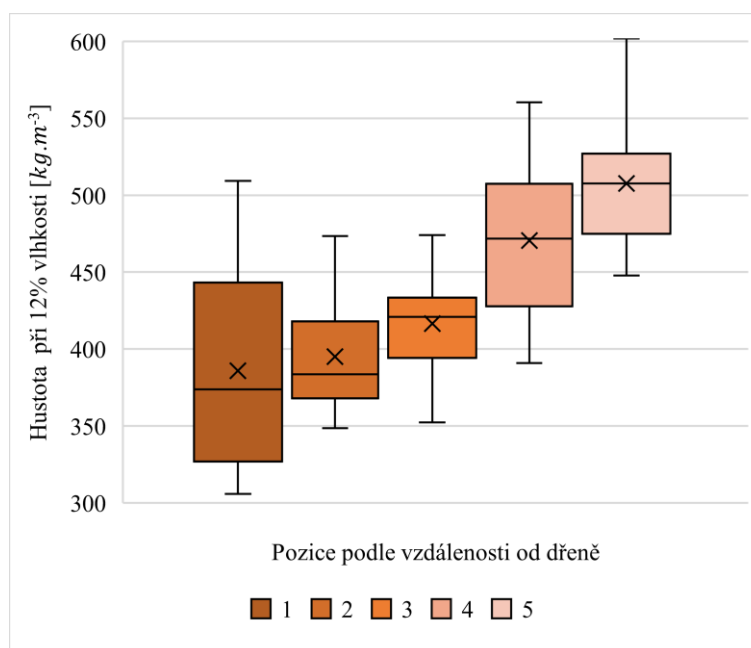
U jedle bělokoré (viz příloha č.3) pochází stromy označené 1 až 3 z lokality č.1 a stromy označené číslem 4 a 5 z lokality č.2. Nejnižší průměrné hustoty 431 kg.m^{-3} dosahuje strom č.3, nejvyšší pak strom č.5 s hodnotou 486 kg.m^{-3} . Je patrné, že lokalita číslo 2 poskytla stromy s vyšší průměrnou hustotou. To může být způsobeno například rozdílnými růstovými podmínkami a pěstebními zásahy. Do úvahy připadá také vliv věku stromu na hustotu, kdy s rostoucím věkem hustota obvykle klesá (Požgaj, 1997).

V případě smrku ztepilého (viz příloha č.5) pochází stromy 1 až 3 z lokality č.1, zbylé pak z lokality č.2. Nejnižší průměrné hustoty 410 kg.m^{-3} dosahuje strom č.4. Nejvyšší 452 kg.m^{-3} strom č.3. Vyšších pevností dosahují stromy z lokality č.1, tedy lokality se stromy vyššího věku. V případě smrku však neplatí, že by hustota klesala s věkem jako u jedle bělokoré a většiny ostatních dřevin, nýbrž může růst, jak udává Požgaj (1997). Dalším vysvětlením můžou být odlišné růstové podmínky jednotlivých stanovišť.

Průměrná hustota jedle obrovské v závislosti na vzdálenosti od dřene má jasně stoupající trend. Nejbližze dřeni vyšla naměřená hustota 383 kg.m^{-3} , v nejvzdálenějším místě 508 kg.m^{-3} . Se vzdáleností klesá i variabilita. K totožnému závěru došel také Zeidler et al. (2015), který naměřil dokonce i stejnou nejnižší hustotu (383 kg.m^{-3}).

Tabulka č.5: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle obrovské

| Vzdálenost od dřene | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| 1 | 33 | 369 | 306 | 509 | 59 | 15,3 |
| 2 | 32 | 386 | 349 | 474 | 36 | 9,2 |
| 3 | 32 | 421 | 352 | 474 | 28 | 6,8 |
| 4 | 29 | 472 | 391 | 560 | 43 | 9,1 |
| 5 | 13 | 508 | 448 | 602 | 41 | 8,2 |



Graf č.2: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle obrovské

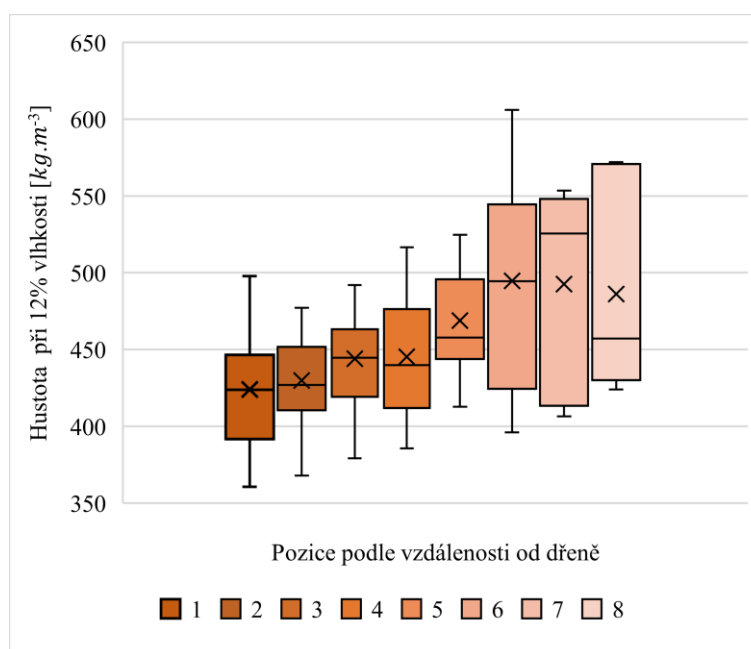
V případě jedle bělokoré z lokality č.1 je taktéž patrný stoupající trend, variabilita ale se vzdáleností mírně roste. Nejnižší průměrná hustota dosáhla 424 kg.m⁻³ ve vzdálenosti č.1 nejbliže u dřene. Nejvyšší průměrná hodnota byla naměřena ve vzdálenosti č.9 a to 543 kg.m⁻³. V porovnání s lokalitou č.2 (viz příloha č.7) vykazuje dřevo v první polovině rozsahu měření nižší hustotu, rozdíly se smazávají až na úrovni vzdálenosti č.5. Toto může být způsobeno rozdílným stanovištěm, metodou odběru, ale také rozdílným stářím stromů.

U lokality č.2 taktéž není stoupající trend tak souvislý jako v případě lokality č.1. Například průměrná hustota vypočtená ve vzdálenosti č.3 dosahuje hodnoty 496 kg.m⁻³, která víceméně odpovídá vzdálenosti č.5 s hodnotou 499 kg.m⁻³, hustota ve vzdálenosti č.4 ovšem dosahuje pouze 475 kg.m⁻³. Kurjatko (1998) pro závislost hustoty na vzdálenosti od dřene udává souvislý vzrůstající trend, ten se ovšem potvrdil pouze v lokalitě č.1.

I přesto je vidět, že jedle bělokorá vykazuje již od středu kmene vyšší průměrnou hustotu než jedle obrovská (viz graf č.2), která se na hodnoty srovnatelné s jedlí bělokorou dostává až v druhé polovině měřené vzdálenosti.

Tabulka č.6: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle bělokoré z lokality č.1

| Vzdálenost od dřene | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| 1 | 29 | 424 | 361 | 498 | 38 | 9,1 |
| 2 | 28 | 427 | 368 | 546 | 38 | 8,8 |
| 3 | 28 | 445 | 379 | 546 | 34 | 7,6 |
| 4 | 25 | 440 | 386 | 517 | 38 | 8,5 |
| 5 | 23 | 458 | 413 | 525 | 32 | 7,0 |
| 6 | 17 | 495 | 396 | 606 | 66 | 13,3 |
| 7 | 8 | 525 | 407 | 554 | 63 | 12,7 |
| 8 | 7 | 457 | 424 | 572 | 59 | 12,2 |



Graf č.3: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle bělokoré z lokality č.1

Hustota v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.1 má stoupající trend v celém měřeném rozsahu. Nejnižší hodnota dosahuje nejbliže u dřene 420 kg.m^{-3} , zatímco v nejvzdálenějším místě vzrůstá na 465 kg.m^{-3} .

Zajímavým faktem je, že porovnáme-li smrk ztepilý a jedli bělokorou z lokality č.2 (viz příloha č.7), rozdíl v jejich hustotách je poměrně zásadní, v případě lokality č.1 je však průměrná hustota jedle bělokoré (viz graf č.2) na velmi podobné úrovni se smrkem ztepilým, a tento jev se dá pozorovat i v dalších vzdálenostech. Nutno však doplnit, že maximální hodnoty dosahují u jedle bělokoré i nadále vyšších hodnot.

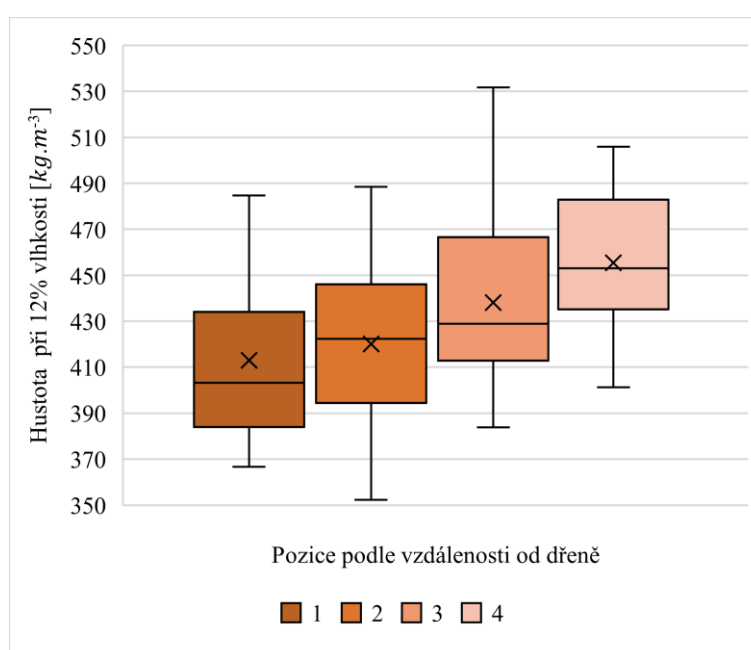
Smrk ztepilý z lokality č.2 (viz příloha č.9) opět vykazuje stoupající trend v celém rozsahu. Nejnižší průměrná hustota ve vzdálenosti č.1 je rovna 413 kg.m^{-3} , zatímco v nejvzdálenějším místě měření je již na hodnotě 455 kg.m^{-3} . Tento trend potvrzuje i Sonderegger et al. (2007) ve své práci věnované vlivu vybraných faktorů na vlastnosti smrku ztepilého, a odpovídá i závěrům Požgaje (1997), který tvrdí, že hustota se vzdáleností od dřene v případě smrku ztepilého obvykle roste.

V porovnání s jedlí bělokorou ze stejné lokality nedosahuje smrk ztepilý stejně vysokých hustot v žádné ze vzdáleností, rozdíl je v rozmezí $30\text{-}50 \text{ kg.m}^{-3}$. Zajímavější situace ovšem nastává v případě porovnání s jedlí obrovskou z totožné lokality, která

ve vzdálenostech č.1 až č.3 sice zaostává za smrkem ztepilým v průměrné hustotě v rozmezí 20-30 kg.m⁻³, ale ve vzdálenosti č.4 už smrk překonává o 15 MPa.

Tabulka č.7: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene smruku ztepilého z lokality č.2

| Vzdálenost od dřene | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| 1 | 41 | 403 | 367 | 560 | 38 | 9,1 |
| 2 | 40 | 422 | 352 | 489 | 31 | 7,4 |
| 3 | 38 | 429 | 384 | 532 | 33 | 7,6 |
| 4 | 24 | 453 | 401 | 506 | 28 | 6,1 |



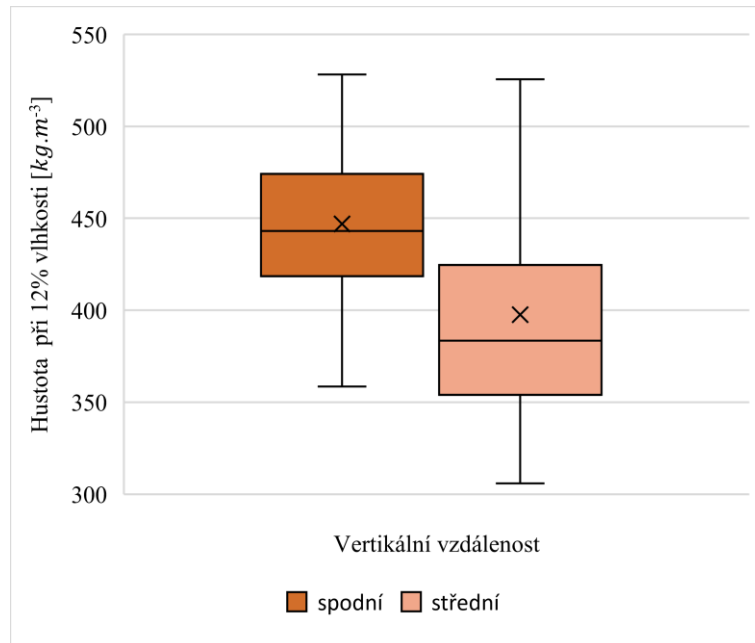
Graf č.4: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene smruku ztepilého z lokality č.2

V grafu č.5 je znázorněna závislost jedle obrovské na vertikální vzdálenosti. Je jasně patrné, že vzorky odebrané z báze vykazují vyšší průměrnou hustotu, konkrétně 447 kg.m⁻³ a nižší variabilitu 9,8 %, narozdíl od vzorků odebraných ve výšce zhruba 6 m, které dosahují průměrné hustoty pouze 398 kg.m⁻³ a vyšší variability 16,1 %.

Tento klesající trend snižující se hustoty po výšce kmene se u jehličnatých dřevin obvykle projevuje, ale nemusí nastat ve všech případech (Tsoumis, 2009). Zeidler et al. (2015) došel ovšem k výsledku, kdy se hustota v první polovině nejdříve snižuje a následně roste, to ovšem nemůžeme ověřit kvůli absenci vzorků z horní části kmene.

Tabulka č.8: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| Spodní | 74 | 443 | 359 | 602 | 44 | 9,8 |
| Střední | 65 | 384 | 306 | 571 | 64 | 16,1 |



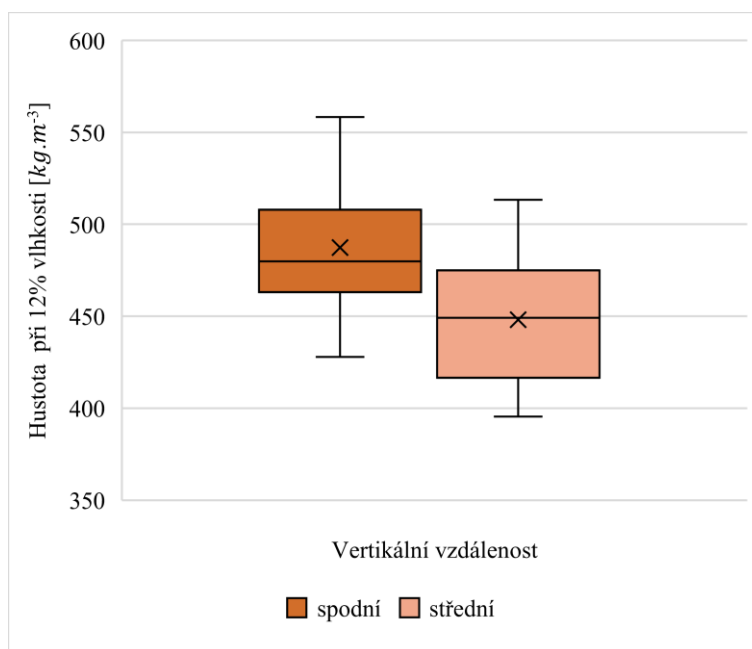
Graf č.5: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské

Závislost hustoty na vertikální vzdálenosti jedle bělokoré z lokality č.1 (viz příloha č.11) nevykazuje jednotný trend. Nejvyšší průměrné hustoty 480 kg.m^{-3} dosahuje spodní pozice odebraná z báze stromu, nejnižší 435 kg.m^{-3} naopak střední pozice odebraná zhruba v 1/3 výšky stromu.

V případě lokality č.2 znázorněné v grafu č.6 je situace stejná jako u jedle obrovské, spodní pozice odebraná z báze vykazuje vyšší průměrnou hustotu 487 kg.m^{-3} , zatímco průměrná hodnota ve střední pozici klesá na 448 kg.m^{-3} . Ke klesajícímu trendu se přiklání i práce González-Rodrigo et al. (2013), která zkoumala vlastnosti jedle bělokoré ze španělských Pyrenejí.

Tabulka č.9: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| Spodní | 66 | 480 | 428 | 607 | 36 | 7,3 |
| Střední | 28 | 449 | 395 | 513 | 33 | 7,5 |



Graf č.6: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2

Závislost hustoty na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1 má čistě stoupající trend. Nejnižší průměrná hustota 412 kg.m^{-3} byla získána ze vzorků pocházejících z báze, nejvyšší průměrnou hustotu 460 kg.m^{-3} vykazují vzorky z 2/3 výšky stromu, což by mělo odpovídat výšce zhruba 24 m. Tento výsledek odpovídá závěrům Požgaje (1997), který uvádí, že u jehličnatých dřevin má hustota tendenci růst nad hranicí 10 m výšky. Naopak Tsoumis (2009) dochází u smrku ve středním pásmu k znatelnému poklesu hustoty, což se v tomto případě nepotvrdilo. Horáček (2017) ve své práci taktéž naměřil u smrku ztepilého stoupající hodnoty, s největším nárůstem v oblasti koruny stromu.

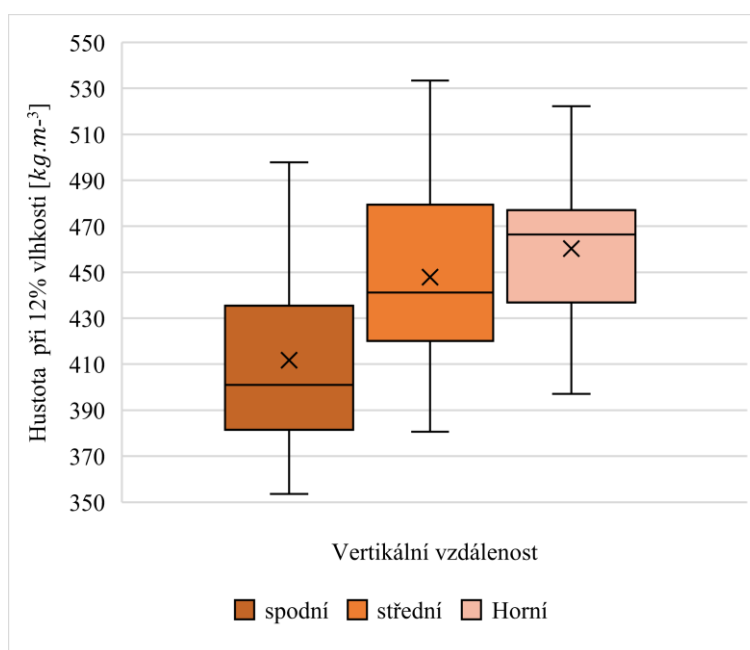
V porovnání s jedlí bělokorou ze stejné lokality (viz příloha č.11), tak vychází lepší průměrné hodnoty střední a horní pozice ve prospěch smrku ztepilého, zatímco ve spodní pozici dosahuje zásadně vyšších hodnot jedle bělokorá.

V případě lokality č.2 je u smrku ztepilého taktéž vidět stoupající trend závislosti hustoty na vertikální vzdálenosti. Rozdíl však už není tak markantní jako v případě lokality č.1, pouze okolo 10 kg.m^{-3} mezi spodní a střední pozicí. Na tento fakt má vliv pravděpodobně rozdílná metoda odběru, kdy v tomto případě se nachází střední pozice ve výšce pouze 6 m, na rozdíl od lokality č.2, kde se za střední pozici rozumí výška zhruba 12 m.

Oproti jedli bělokoré však není rozdíl mezi spodní a střední pozicí tak markantní. Nicméně ani nejvyšší průměrná hodnota hustoty u smrku ztepilého nedosahuje minimálních průměrných hodnot u jedle bělokoré.

Tabulka č.10: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| Spodní | 34 | 401 | 354 | 498 | 40 | 9,7 |
| Střední | 45 | 441 | 381 | 533 | 40 | 9,0 |
| Horní | 35 | 466 | 397 | 522 | 28 | 6,1 |



Graf č.7: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1

5.2. Výsledky a porovnání pevnosti v tlaku zkoumaných dřevin

Výsledné hodnoty naměřené pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých dřevin jsou znázorněné v grafu č.8 a v tabulce č.11. Nejvyšší pevnost v tlaku ve směru vláken vykazuje jedle bělokorá, následuje smrk ztepilý a nejnižší hodnoty byly naměřeny u jedle obrovské.

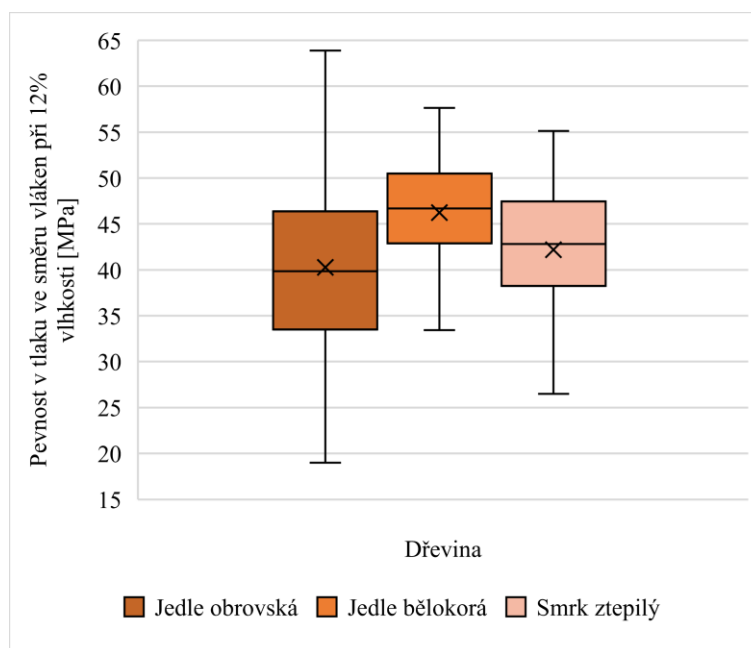
V případě jedle bělokoré dosáhla minimální pevnost v tlaku 30,6 MPa, maximální 57,7 MPa a průměrná 46,2 MPa s variačním koeficientem 13,4 %. V porovnání s Požgajem (1997), který uvádí pro pevnost v tlaku ve směru vláken 39,2 MPa a variační koeficient 13,7 %, se jedná o vyšší hodnotu, to samé platí pro 35,6 MPa udávané Kurjatkem (1998). Nedosahuje však 47 MPa, které uvádí ve své práci Novák (1970) i Wagenführ (2007).

U jedle obrovské vyšla minimální pevnost v tlaku ve směru vláken 19,0 MPa, maximální 63,9 MPa a průměrná 40,3 MPa s variačním koeficientem 21,1 %. Tato hodnota přesahuje 36,5 MPa, kterou udává Alden (1997), naopak v případě práce Zeidlera et al. (2015), který naměřil pro jedli obrovskou pěstovanou v České republice 39,6 MPa, se jedná takřka o stejný výsledek.

Smrk ztepilý dosáhl v tomto měření minimální pevnosti v tlaku 20,7 MPa, maximální 55,1 MPa a průměrné 42,2 MPa s variačním koeficientem 17,5 %, tyto hodnoty převyšují údaj 34,1 MPa s variačním koeficientem 13,1 %, který udává Požgaj (1997), ale zdaleka nedosahují hodnoty 50 MPa, kterou uvádí Novák (1970) i Wagenführ (2007). Převyšují i hodnoty naměřené Horáčkem (2017), který pro průměrnou pevnost v tlaku ve směru vláken pro smrk ztepilý z oblasti Beskyd naměřil 37,6 MPa s nižším variačním koeficientem 11,1 %.

Tabulka č.11: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých dřevin

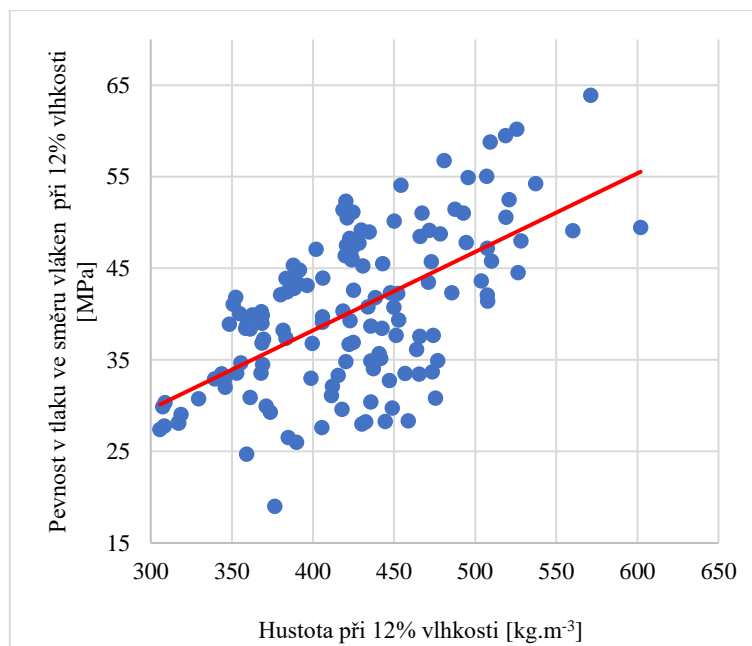
| Dřevina | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|-----|-----------|------|------|-----|-------|
| Jedle obrovská | 139 | 39,8 | 19,0 | 63,9 | 8,5 | 21,1 |
| Jedle bělokorá | 93 | 46,7 | 30,6 | 57,7 | 6,2 | 13,4 |
| Smrk ztepilý | 145 | 42,8 | 20,7 | 55,1 | 7,4 | 17,5 |



Graf č.8: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých dřevin

V příloze č.15 můžeme vidět porovnání pevnosti v tlaku podél vláken jednotlivých stromů jedle obrovské. Všechny tři stromy se nacházejí v podobném pásmu hodnot a nedošlo k žádnému výraznému výkyvu. Nejnižší průměrné pevnosti 38,4 MPa dosáhl strom č.2. Naopak nejvyšší hustotu 42,5 MPa se podařilo zjistit u stromu č.1.

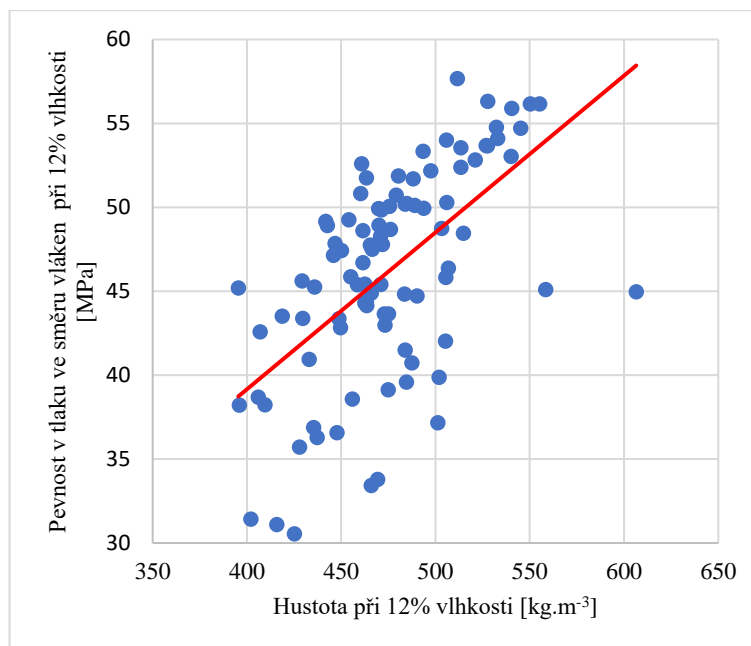
Podíváme-li se na graf č.9 regresní analýzy je patrné, že regresní přímka pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na hustotě u jedle obrovské stoupá. Korelační koeficient $r = 0,599$ a koeficient determinace $r^2 = 0,359$ značí, že se jedná o středně silnou kladnou korelaci.



Graf č.9: Závislost pevnosti v tlaku na hustotě u jedle obrovské

Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken u jednotlivých stromů jedle bělokoré (viz příloha č.17) můžeme rozdělit na stromy 1 až 3 pocházející z lokality č.1 a stromy 4 a 5 z lokality č.2. Nejvyšší průměrné hodnoty 48,0 MPa dosahuje strom č.5, nejnižší 41,6 MPa naopak strom č.3. Díky tomu se jeví jako lokalita s výskytem vyšší pevnosti v tlaku ve směru vláken u jedle bělokoré lokalita č.2. Tyto hodnoty korespondují s naměřenou hustotou (viz příloha č.3) a předpokladem, že vyšší hustota obvykle vede k vyšší pevnosti, jak uvádí Požgaj (1997).

V případě regresní analýzy závislosti pevnosti v tlaku ve směru vláken u jedle bělokoré z lokality znázorněné v grafu č.10, je korelační koeficient $r = 0,594$ a koeficient determinace $r^2 = 0,353$, výsledek se velmi blíží jedli obrovské a docházíme tedy ke stejnému závěru, že se jedná o středně silnou kladnou korelaci.

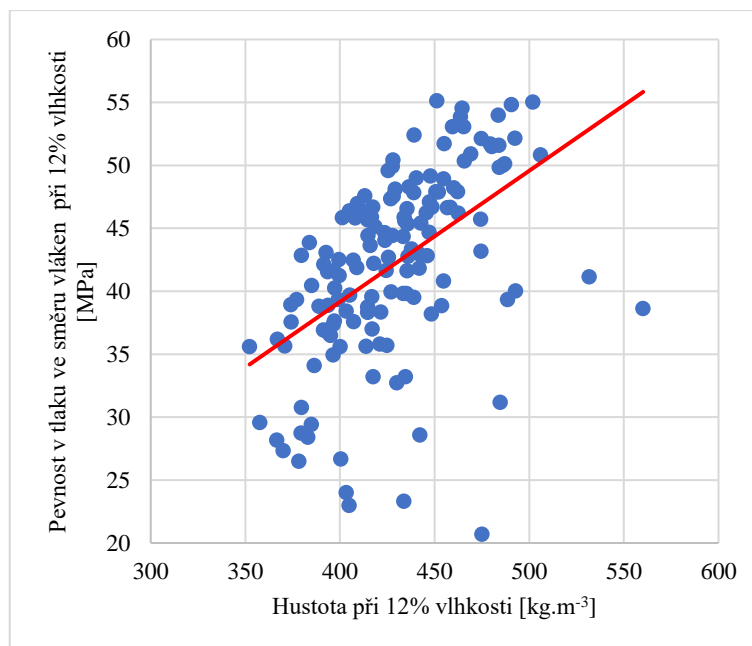


Graf č.10: Závislost pevnosti v tlaku na hustotě u jedle bělokoré

V případě porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů smrku ztepilého (viz příloha č.19), můžeme začít jako u jedle bělokoré, rozdělením na dvě skupiny podle lokality. Skupinu jedna, kam patří stromy 1 až 3 z lokality č.1 a skupinu dva, kam patří stromy 4 až 6 z lokality č.2. Stromy z první lokality dosáhly vyšší průměrné pevnosti, což opět koresponduje s naměřenou hustotou (viz příloha č.5).

Nejvyšší průměrná pevnost v tlaku 46,5 MPa byla naměřena u stromu č.3, nejnižší 39,1 MPa u stromu č.4. V lokalitě č.2 vyšel vyšší variační koeficient.

U regresní analýzy závislosti pevnosti v tlaku ve směru vláken na hustotě u smrku ztepilého z lokality č.2 znázorněné v grafu č.11, dostáváme hodnoty pro korelační koeficient $r = 0,513$ a koeficient determinace $r^2 = 0,263$, což jsou hodnoty, které sice stále vypovídají o středně silné kladné korelaci, ovšem závislost pevnosti v tlaku ve směru vláken na hustotě je nižší než u obou jedlí.

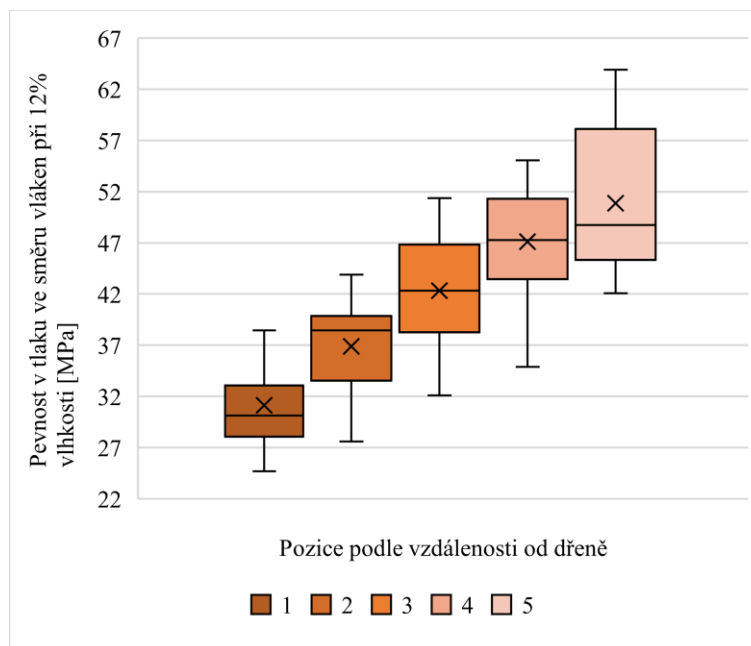


Graf č.11: Závislost pevnosti v tlaku na hustotě u smrku ztepilého

V případě závislosti pevnosti v tlaku ve směru vláken na vzdálenosti od dřenež u jedle obrovské můžeme pozorovat stoupající trend. Průměr hodnot ve vzdálenosti č.1, která byla vymanipulována nejbližše dřeni je 31,4 MPa. Průměr hodnot ve vzdálenosti č.5, která je zároveň nejdál v našem rozsahu je 50,9 MPa. Se vzrůstající vzdáleností je patrný i pokles variability hodnot. Stejný vzrůstající trend potvrzuje i Zeidler et al. (2015), stejně jako velmi podobné výsledky v jednotlivých vzdálenostech.

Tabulka 5: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřenež u jedle obrovské

| Vzdálenost od dřenež | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 33 | 30,7 | 19,0 | 58,8 | 6,2 | 19,7 |
| 2 | 32 | 37,9 | 27,6 | 43,9 | 4,3 | 11,6 |
| 3 | 32 | 42,3 | 32,1 | 51,4 | 5,2 | 12,2 |
| 4 | 29 | 47,3 | 34,9 | 55,1 | 5,3 | 11,2 |
| 5 | 13 | 48,7 | 42,1 | 63,9 | 6,8 | 13,4 |



Graf č.12: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřevě u jedle obrovské

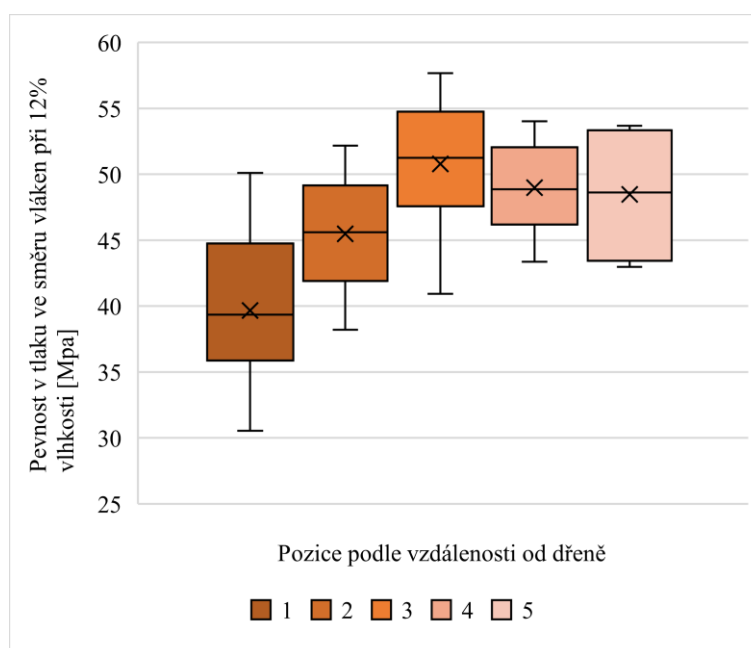
U závislosti pevnosti v tlaku ve směru vláken na vzdálenosti od dřevě u jedle bělokoré z lokality č.1 je patrný vzrůstající trend až ke vzorkům ve vzdálenosti č.7, kdy dosahuje průměrná pevnost maxima 49,5 MPa. Vzorky ve vzdálenostech č.8 a č.9 vykazují pokles zhruba na hodnotu vzorků ve vzdálenosti č.6, tedy na rozmezí 46-48 MPa. Nejnížší průměrná hodnota byla naměřena nejbližše dřevě a dosáhla 37,7 Mpa.

V případě závislosti pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny u jedle bělokoré z lokality č.2 můžeme pozorovat ze začátku rychlý nárůst pevnosti, která se ovšem postupně zastavuje okolo hodnoty zhruba 50 MPa, a ve vzdálenosti č.4 a č.5 dochází již k mírnému poklesu. Nejnížší průměrná pevnost byla opět naměřena nejbližše dřevě a dosahuje 39,7 MPa. Toto zjištění koresponduje s výsledky Kurjatka (1998), který udává také rychlý nárůst a následný konstantní až mírně klesající průběh. Ne však s Gonzáles-Rodrigo et al. (2013), která ve své práci naměřila na rozsahu sta letokruhů stoupající trend směrem od dřevě až zhruba do poloviny rozsahu měření a následný stejně rychlý pokles.

V porovnání s jedlí obrovskou dosahujeme již od počátku měření vyšších hodnot, které se začínají srovnávat až ve vzdálenosti č.4 a č.5, kdy ve vzdálenosti č.5 už jedle obrovská dosahuje vyšší průměrné pevnosti ve směru vláken, a to konkrétně 50,9 MPa oproti 48,5 MPa u jedle bělokoré.

Tabulka č.13: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle bělokoré z lokality č.2

| Vzdálenost od dřene | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 24 | 39,4 | 30,6 | 50,1 | 5,4 | 13,5 |
| 2 | 22 | 45,6 | 38,2 | 52,2 | 4,2 | 9,3 |
| 3 | 24 | 51,3 | 40,9 | 57,7 | 4,6 | 9,0 |
| 4 | 19 | 49,3 | 43,4 | 54,0 | 3,2 | 6,5 |
| 5 | 4 | 48,6 | 43,0 | 53,7 | 4,6 | 9,5 |



Graf č.13: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle bělokoré z lokality č.2

Závislost pevnosti v tlaku ve směru vláken na vzdálenosti od dřene u smrku z lokality č.1 můžeme vidět na grafu č.14. Jako v předchozích případech je patrný vesměs stoupající trend startující na průměrné pevnosti v tlaku 40,9 MPa nejbliže u dřene, pokračující až k maximum 58,9 MPa u vzorků s č.6.

V porovnání s jedlí bělokorou ze stejné lokality dosahuje smrk ztepilý v jednotlivých vzdálenostech buďto srovnatelné, nebo vyšší pevnosti v tlaku. Tento výsledek neodpovídá předpokladu, že s vyšší hustotou se pojí vyšší pevnost, jelikož jedle bělokorá z lokality č.1 vykazuje vyšší hustotu než smrk ztepilý ze stejného území.

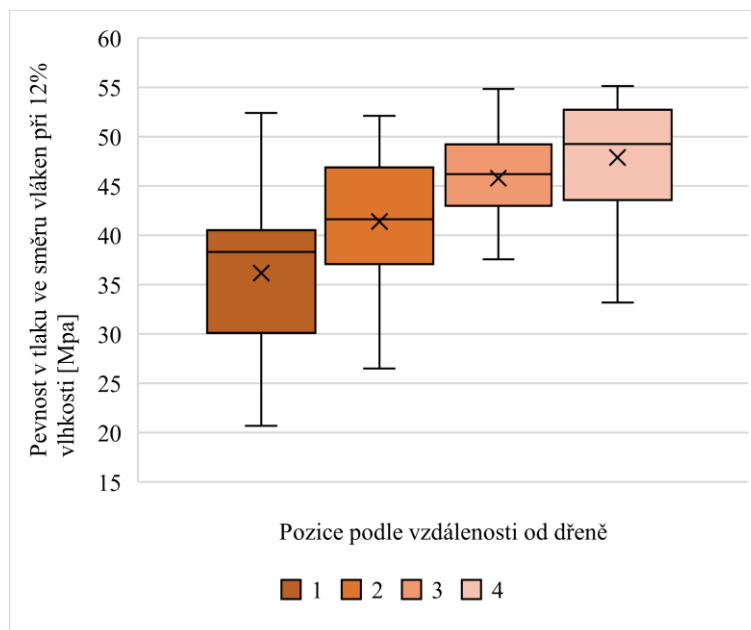
U smrku ztepilého z lokality č.2 je opět viditelný nárůst pevnosti v tlaku ve směru vláken rostoucí se stoupající vzdáleností od dřene. Roste nejenom průměrná, ale i minimální a maximální hodnota. Nejnižší průměrná hodnota 36,2 MPa byla naměřena nejbliže u dřene, nejvyšší 47,9 MPa pak u vzorků č.4. V porovnání s Horáčkem et al. (2017), který ve své práci nezjistil žádný souvislý trend, jsme tedy nedošli ke stejnému výsledku.

V porovnání s jedlí bělokorou ze stejné lokality dosahuje smrk nižších průměrných hodnot pevnosti v tlaku ve směru vláken a vyššího variačního koeficientu. Tyto výsledky tak už korespondují s odhadem vyšší pevnosti na základě naměřené hustoty u jedle bělokoré, na rozdíl od výsledků z lokality č.1.

V porovnání s jedlí obrovskou, smrk ztepilý dosahuje vyšších průměrných pevností ve vzdálenosti č.1 až č.3, ovšem ve vzdálenosti č.4 jsou už průměrné pevnosti obou dřevin srovnatelné.

Tabulka č.14: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.2

| Vzdálenost od dřene | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 41 | 38,3 | 20,7 | 52,4 | 7,0 | 19,3 |
| 2 | 40 | 41,6 | 26,5 | 52,1 | 6,2 | 14,9 |
| 3 | 38 | 46,2 | 32,7 | 54,8 | 4,6 | 10,0 |
| 4 | 24 | 49,3 | 33,2 | 55,1 | 5,5 | 11,5 |

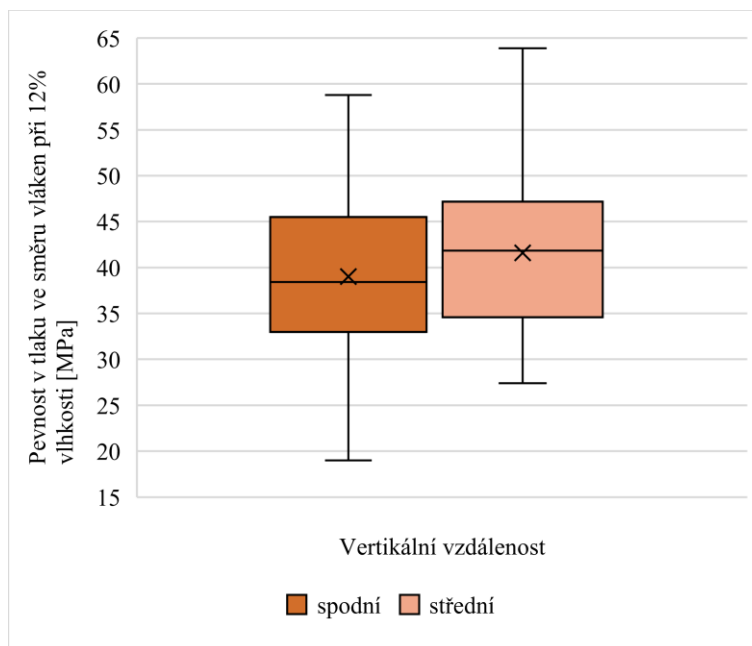


Graf č.14: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.2

U závislosti pevnosti v tlaku ve směru vláken na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské můžeme sledovat drobné zvýšení pevnosti ve směru vzhůru. Průměrná pevnost ve spodní části kmene vyšla 39,0 MPa, zatímco ve střední 41,6 MPa. Nárůst není nijak dramatický, ale vzhledem k faktu, že průměrná hustota v závislosti na vertikální vzdálenosti klesla mezi spodní a střední pozicí o zhruba $50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, jedná se o překvapivý výsledek, který opět nekoresponduje s předpokladem, že pevnost obvykle roste s hustotou, jak udává Požgaj (1997). Tento výsledek nekoresponduje ani se Zeidlerem et al. (2015), který udává nižší pevnost v tlaku ve střední části kmene.

Tabulka č.15: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| Spodní | 75 | 38,4 | 19,0 | 58,8 | 8,5 | 21,7 |
| Střední | 65 | 41,8 | 27,4 | 63,9 | 8,3 | 20,0 |



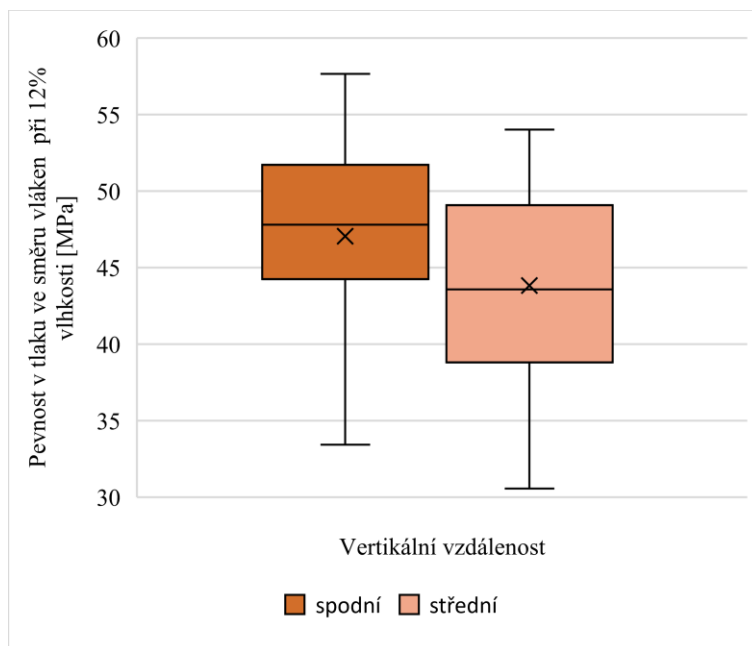
Graf č.15: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské

Jedle bělokorá z lokality č.1 v případě závislosti pevnosti v tlaku ve směru vláken na vertikální vzdálenosti nevykazuje mezi jednotlivými pozicemi víceméně žádný rozdíl, ve všech případech se pohybuje průměrná pevnost kolem 44 MPa.

V případě lokality č.2 je situace rozdílná, spodní pozice vykazuje vyšší průměrnou pevnost v tlaku ve směru vláken a to konkrétně 47,1 MPa, zatímco střední pozice 43,8 MPa. Srovnáme-li tento výsledek s prací Gonzáles-Rodrigo et al. (2013), která zkoumala jedli bělokorou situovanou ve španělských Pyrenejích, dojdeme ke stejnému klesajícímu trendu od báze ke koruně.

Tabulka č.16: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| Spodní | 66 | 47,8 | 33,4 | 57,7 | 6,0 | 12,7 |
| Střední | 28 | 43,6 | 30,6 | 54,0 | 6,5 | 14,9 |



Graf č.16: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2

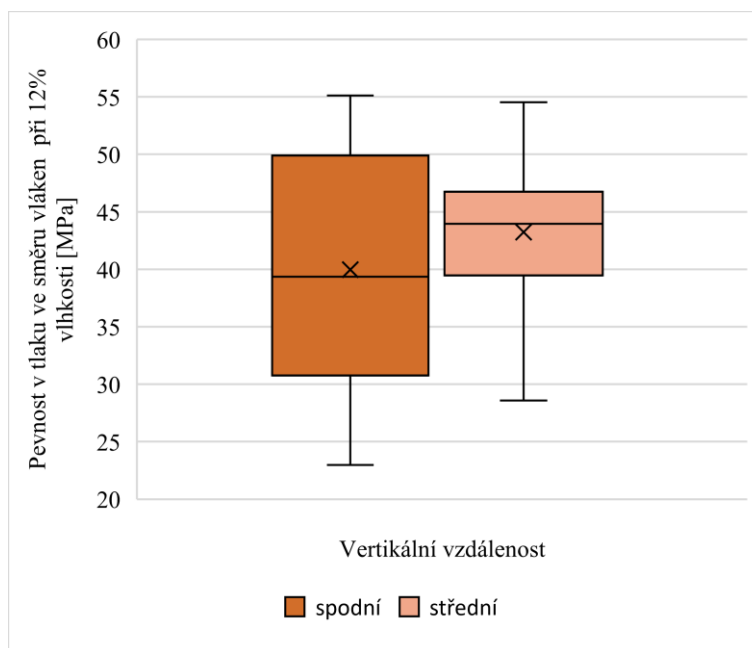
Smrk ztepilý z lokality č.1 vykazuje ve spodní a střední pozici stejnou průměrnou pevnost ve směru vláken a to okolo 44,5 MPa, v horní pozici došlo k mírnému nárůstu na 46,4 MPa. V porovnání s jedlí bělokorou ze stejné lokality se nám potvrzuje to, co bylo patrné už z porovnání jednotlivých stromů jedle bělokoré a smrku ztepilého, kdy taktéž vyšlo, že smrk ztepilý dosahuje vyšší průměrné pevnosti. V tomto případě je vidět, že ve spodní a střední pozici jsou hodnoty velmi podobné, ale v horní pozici smrk ztepilý vykazuje vyšší průměrnou pevnost než jedle bělokorá.

Lokalita č.2 má v případě smrku ztepilého také stoupající charakter stejně jako lokalita č.1. Spodní pozice vykazuje průměrnou pevnost v tlaku ve směru vláken 40,0 MPa, zatímco střední pozice 43,2 MPa. Horáček et al. (2017) zjistil ve své práci u smrku ztepilého stejný stoupající trend.

V porovnání s jedlí bělokorou je průměrná pevnost v obou pozicích nižší. V porovnání s jedlí obrovskou je ovšem průměrná pevnost velmi podobná, rozdíl činí pouze 1-1,5 MPa.

Tabulka č.17: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| Spodní | 47 | 39,3 | 23,0 | 55,1 | 9,7 | 24,4 |
| Střední | 98 | 44,0 | 20,7 | 54,5 | 5,6 | 13,0 |



Graf č.17: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2

5.3. Možná vzájemná substituce zkoumaných dřevin

Ze zjištěných hodnot hustoty a pevnosti ve směru vláken vyplynulo, že nejnižších hodnot dosáhla introdukovaná jedle obrovská, a to konkrétně hustoty 424 kg.m^{-3} a pevnosti v tlaku ve směru vláken $40,3 \text{ MPa}$. V porovnání s jedlí obrovskou, u které bylo naměřeno 476 kg.m^{-3} , respektive $46,2 \text{ MPa}$ je tak patrné, že jedli obrovskou, co se týče zkoumaných vlastností zásadně převyšuje a vzájemná substituce není vhodná.

V případě smrku ztepilého s naměřenou hustotou 429 kg.m^{-3} a pevností v tlaku ve směru vláken $42,2 \text{ MPa}$ je situace o poznání lepší, hodnoty nevykazují v porovnání s jedlí obrovskou takový nárůst. Substituci si v tomto případě lze představit. Vhodným využitím dřeva jedle obrovské by tak mohlo být například použití na trámy a sloupky u méně namáhaných konstrukcí, kde by se navíc dalo profitovat z absence pryskyřičných kanálků, a tedy lepšího výchozího stavu pro povrchové úpravy nebo použití na výrobu překližek.

6. Závěr

Tato práce měla za cíl srovnání introdukované jedle obrovské s domácí jedlí bělokorou a smrkem ztepilým pocházejících z lokality v České republice. Naše domácí dřeviny poskytly vzorky ze dvou lokalit, zatímco u jedle obrovské byly k dispozici vzorky pouze z jedné lokality.

Jednotlivé dřeviny byly srovnávány na úrovni hustoty a pevnosti v tlaku ve směru vláken. Nejvyšší průměrné hustoty 476 kg.m^{-3} dosáhla jedle bělokorá, následovaná smrkem ztepilým s průměrnou hustotou 429 kg.m^{-3} , a nakonec jedlí obrovskou s průměrem 424 kg.m^{-3} . V případě pevnosti v tlaku ve směru vláken je situace stejná, nejvyšší průměrné pevnosti $46,2 \text{ MPa}$ dosáhla také jedle bělokorá, následovaná smrkem ztepilým s průměrnou pevností $42,2 \text{ MPa}$ a jedlí obrovskou s nejnižší průměrnou pevností $40,3 \text{ MPa}$.

Došlo také ke zhodnocení některých vlivů na hustotu, respektive na pevnost v tlaku ve směru vláken. Ukázalo se, že vliv vzdálenosti od dřeně jednotlivých dřevin v závislosti na hustotě i pevnosti ve směru vláken vykazuje vesměs vzrůstající trend v obou lokalitách a u všech zkoumaných dřevin, kdy nejnižších průměrů dosahovaly hodnoty nejbližší dřeni. U závislosti hustoty a pevnosti v tlaku ve směru vláken na vertikální pozici záleželo na konkrétní dřevině i lokalitě. Smrk ztepilý vykazoval v obou lokalitách nárůst hodnot se vzrůstající vertikální vzdáleností, stejně jako jedle obrovská, zatímco pevnost i hustota jedle bělokoré v lokalitě č.2 klesala a v lokalitě č.1 nebylo možné určit jasný trend.

Substituce jedle obrovské a jedle bělokoré se díky značnému rozdílu ve zkoumaných vlastnostech jeví jako nevhodná. V případě smrku ztepilého je situace lepší a přihlédneme-li navíc k velkému ročnímu přírůstu, mohla by ho jedle obrovská nahradit tam, kde není pevnost až tak vyžadována. Použití dřeva jedle obrovské si lze představit například na méně zatížené sloupky a trámy nebo jako materiál pro výrobu překližek.

7. Seznam použitých zdrojů

- ALDEN, H. A., 1997. *Softwoods of North America*. 1. Madison: WI: U.S.D.A., Forest Service, Forest Products Laboratory.
- DIVÍŠEK, J., M. CULEK a M. JIROUŠEK, 2010. Biogeografie. *Is.muni.cz* [online]. Brno [cit. 2020-10-19]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index_Abi_alb.html
- FULÍN, M., 2015. Silviculture, production potential and ecological effects of Grand fir (*Abies grandis*/Douglas ex D. Don/Lindl.) in the Czech Republic – review. *Forestry Journal* [online]. **61**(4), 262-266 [cit. 2020-10-17]. ISSN 0323-1046. Dostupné z: doi:10.1515/forj-2015-0035
- GANDELOVÁ, L. a P. HORÁČEK, 2002. *Nauka o dřevě*. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN isbn:80-7157-577-1.
- GONZÁLEZ-RODRIGO, B., L. G. ESTEBAN, P. PALACIOS, F. GARCÍA-FERNÁNDEZ a A. GUINDEO, 2013. Variation throughout the tree stem in the physical-mechanical properties of the wood. *Madera y Bosques* [online]. **19**(2) [cit. 2021-02-20]. ISSN 2448-7597. Dostupné z: doi:10.21829/myb.2013.192342
- HORÁČEK, P., M. FAJSTAVR a M. STOJANOVIĆ, 2017. The variability of wood density and compression strength of Norway spruce (*Picea abies*/L./Karst.) within the stem. *Beskydy* [online]. **10**(1-2), 17-26 [cit. 2021-02-20]. ISSN 1803-2451. Dostupné z: doi:10.11118/beskyd201710010017
- KOBLÍŽEK, J., 2006. *Jehličnaté a listnaté dřeviny našich zahrad a parků*. 2., rozš. vyd. Tišnov: Sursum. ISBN 80-7323-117-4.
- KRÜSSMANN, G., 1978. *Evropské dřeviny: příručka pro přátele přírody*. 1.vyd. Praha: SZN. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.
- KURJATKO, S., KÚDELA, J., ed., 1998. Wood structure and properties '98. Zvolen: Arbora Publishers. ISBN 80-967088-4-8.
- Lexikon vad dřeva* [online], 2010. Praha: ČZU [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/lexikon_vad/tocitost.htm
- LUKÁŠEK, J., A. ZEIDLER a Š. BARCÍK, 2012. Shrinkage of Grand Fir Wood and its Variability within the Stem. *Drvna industrija* [online]. 121-128 [cit. 2021-02-20]. ISSN 00126772. Dostupné z: doi:10.5552/drind.2012.1140
- MUSIL, I., J. HAMERNÍK a G. LEUGNEROVÁ, 2003. *Lesnická dendrologie 1: jehličnaté dřeviny : přehled nahosemenných (i výtrusných) dřevin*. 2. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0992-x.
- POŽGAJ, A., 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydanie. Bratislava: Príroda. ISBN 80-07-00960-4.

SONDEREGGER, W., D. MANDALLAZ a P. NIEMZ, 2008. An investigation of the influence of selected factors on the properties of spruce wood. *Wood Science and Technology* [online]. **42**(4), 281-298 [cit. 2021-02-19]. ISSN 0043-7719. Dostupné z: doi:10.1007/s00226-007-0173-2

Stavba Dřeva [online], 2002. Brno: Mendelova univerzita v Brně [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: https://ldf.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/vyuka/makro/povrchove_a_vz_hledove_vlastnosti.htm

SVATOŠOVÁ, L. a B. KÁBA, 2007. *Statistické metody I*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta. ISBN 978-80-213-1672-0.

TSOUMIS, G., 2009. *Science and Technology of Wood: structure, properties, utilization*. Remagen: Kessel. ISBN 978-3-941300-22-4.

WAGENFÜHR, R. 2007. *Holzatlas*. Leipzig: Fachbuchverlag, 816 s. ISBN 978-3-446-40649-0

ZEIDLER, A., 2012. *Lexikon Dřeva* [online]. In: . s. 61 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4041658-Ceska-zemedelska-univerzita-v-praze-fakulta-lesnicka-a-drevarska-lexikon-dreva.html>

ZEIDLER, A., 2010. Dřevo jedle obrovské. *Lesnická práce*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, **89**(12), 29. ISSN 0322-9254.

ZEIDLER, A. a P. ŠEDIVKA, 2015. Influence of selected factors on wood density variability in grand fir (*Abies grandis* /Douglas/ Lindl.). *Wood Research* [online]. **60**(1) [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <http://www.woodresearch.sk/wr/201501/04.pdf>

ZEIDLER, A., M. Z. M. SALEM a V. BORŮVKA, 2014. Mechanical Properties of Grand Fir Wood Grown in the Czech Republic in Vertical and Horizontal Positions. *BioResources* [online]. **10**(1), 793-808 [cit. 2021-02-19]. ISSN 1930-2126. Dostupné z: doi:10.15376/biores.10.1.793-808

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic : stav k .., 2019. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce. ISBN 978-80-7434-530-2.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky: Report on the state of forests and forestry in the Czech Republic : stav k .., 2020. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství ČR 2006 [online], 2007. Praha: Ministerstvo zemědělství [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/6455/zelena_zprava_2006_cast_1.pdf

ZVÁRA, K., 1989. *Regresní analýza*. Praha: Academia. ISBN 80-200-0125-5.

Normy

ČSN 49 0108 Drevo: Zisťovanie hustoty. Praha: ÚNM,1993. 5 s.

ČSN 49 0110 Drevo: Medza pevnosti v tlaku v smere vlákien.Praha: ÚNM,1980. 3 s.

8. Seznam grafů, obrázků a tabulek

| | |
|--|----|
| Obrázek č.1 Rozšíření jedle bělokoré (www.euforgen.org) | 11 |
| Obrázek č.2 Habitus (databaze.dendrologie.cz) | 12 |
| Obrázek č.3 Jehličí (biolib.cz) | 12 |
| Obrázek č.4 Rozšíření jedle obrovské (enacademic.com) | 14 |
| Obrázek č.5 Habitus (databaze.dendrologie.cz) | 15 |
| Obrázek č.6 Jehličí (databaze.dendrologie.cz) | 15 |
| Obrázek č.7 Rozšíření smrku ztepilého (euforgen.org) | 17 |
| Obrázek č.8 Habitus (databaze.dendrologie.cz) | 18 |
| Obrázek č.9 Jehličí (databaze.dendrologie.cz) | 18 |
| Obrázek č.10 Znázornění rozdělení těles | 24 |
| Obrázek č.11: Krabicový graf | 27 |
| Tabulka č.1: Rozdělení dřev podle hustoty při 12% vlhkosti (Gandelová, 2002) | 20 |
| Tabulka č.2: Informace o stromech z lokality č.1 | 23 |
| Tabulka č.3: Informace o stromech z lokality č.2 | 24 |
| Tabulka č.4: Hustota při 12% vlhkosti dřevin dle jednotlivých dřevin | 29 |
| Tabulka č.5: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřeně jedle obrovské | 30 |
| Tabulka č.6: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřeně jedle bělokoré z lokality č.1 | 31 |
| Tabulka č.7: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřeně smrku ztepilého z lokality č.2 | 33 |
| Tabulka č.8: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské | 34 |
| Tabulka č.9: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2 | 35 |
| Tabulka č.10: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1 | 36 |
| Tabulka č.11: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých dřevin | 37 |

| | |
|---|----|
| Tabulka č.12: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle obrovské..... | 41 |
| Tabulka č.13: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle bělokoré z lokality č.2..... | 43 |
| Tabulka č.14: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.2..... | 44 |
| Tabulka č.15: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské | 45 |
| Tabulka č.16: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2..... | 46 |
| Tabulka č.17: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2..... | 48 |
| Graf č.1: Hustota při 12% vlhkosti u jednotlivých dřevin..... | 24 |
| Graf č.2: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle obrovské..... | 30 |
| Graf č.3: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle bělokoré z lokality č.1..... | 32 |
| Graf č.4: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene smrku ztepilého z lokality č.2..... | 33 |
| Graf č.5: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské..... | 34 |
| Graf č.6: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2..... | 35 |
| Graf č.7: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1..... | 36 |
| Graf č.8: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých dřevin..... | 38 |
| Graf č.9: Závislost pevnosti v tlaku na hustotě u jedle obrovské..... | 39 |
| Graf č.10: Závislost pevnosti v tlaku na hustotě u jedle bělokoré..... | 40 |
| Graf č.11: Závislost pevnosti v tlaku na hustotě u smrku ztepilého..... | 41 |
| Graf č.12: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle obrovské..... | 42 |
| Graf č.13: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle bělokoré z lokality č.2..... | 43 |
| Graf č.14: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.2..... | 45 |

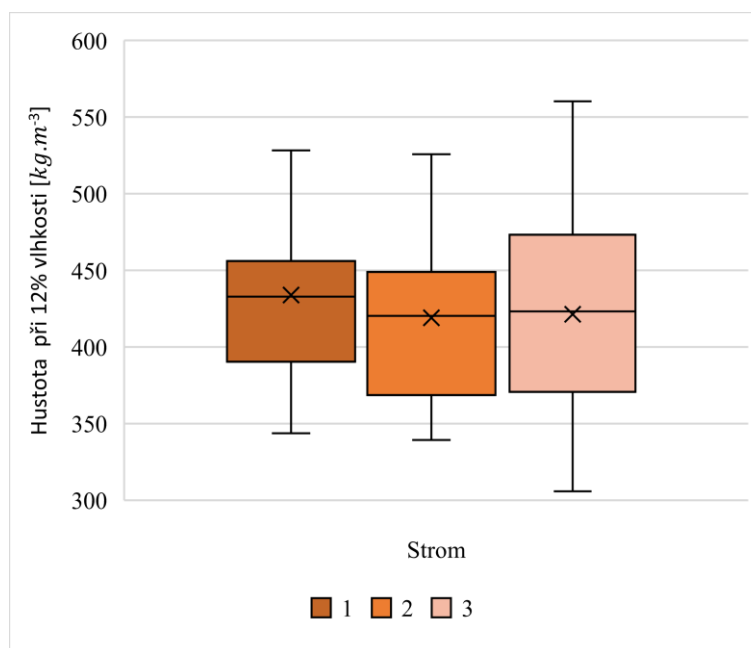
| | |
|--|----|
| Graf č.15: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle obrovské..... | 46 |
| Graf č.16: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.2..... | 47 |
| Graf č.17: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2..... | 48 |

9. Seznam příloh

| | |
|--|----|
| Příloha č.1: Porovnání hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle obrovské | 59 |
| Příloha č.2: Hustota při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle obrovské | 59 |
| Příloha č.3: Porovnání hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle bělokoré | 59 |
| Příloha č.4: Hustota při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle bělokoré | 60 |
| Příloha č.5: Porovnání hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých stromů smrku ztepilého | 60 |
| Příloha č.6: Hustota při 12% vlhkosti jednotlivých stromů smrku ztepilého | 60 |
| Příloha č.7: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřeně jedle bělokoré z lokality č.2 | 61 |
| Příloha č.8: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřeně jedle bělokoré z lokality č.2 | 61 |
| Příloha č.9: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřeně smrku ztepilého z lokality č.1 | 62 |
| Příloha č.10: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřeně smrku ztepilého z lokality č.1 | 62 |
| Příloha č.11: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1 | 63 |
| Příloha č.12: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1 | 63 |
| Příloha č.13: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2 | 63 |
| Příloha č.14: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2 | 64 |
| Příloha č.15: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle obrovské | 64 |
| Příloha č.16: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle obrovské | 64 |
| Příloha č.17: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle bělokoré | 65 |

| | |
|---|----|
| Příloha č.18: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle bělokoré..... | 65 |
| Příloha č.19: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů smrku ztepilého..... | 65 |
| Příloha č.20: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů smrku ztepilého..... | 66 |
| Příloha č.21: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle bělokoré z lokality č.1..... | 66 |
| Příloha č.22: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u jedle bělokoré z lokality č.1..... | 66 |
| Příloha č.23: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.1..... | 67 |
| Příloha č.24: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.1..... | 67 |
| Příloha č.25: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1..... | 68 |
| Příloha č.26: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1..... | 68 |
| Příloha č.27: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1..... | 69 |
| Příloha č.28: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1..... | 69 |

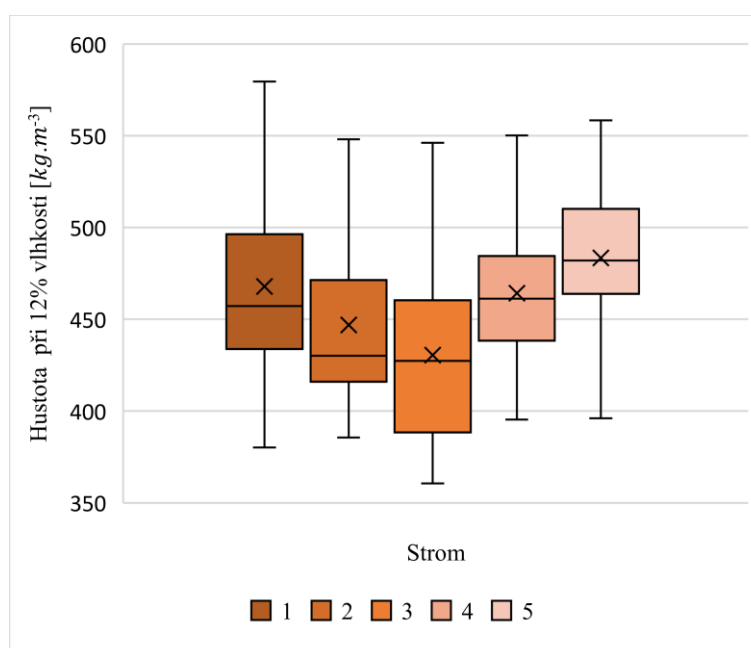
10. Přílohy



Příloha č.1: Porovnání hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle obrovské

| Strom | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|-------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| 1 | 34 | 433 | 344 | 602 | 56 | 13,0 |
| 2 | 35 | 420 | 339 | 571 | 52 | 12,6 |
| 3 | 70 | 423 | 306 | 560 | 63 | 15,0 |

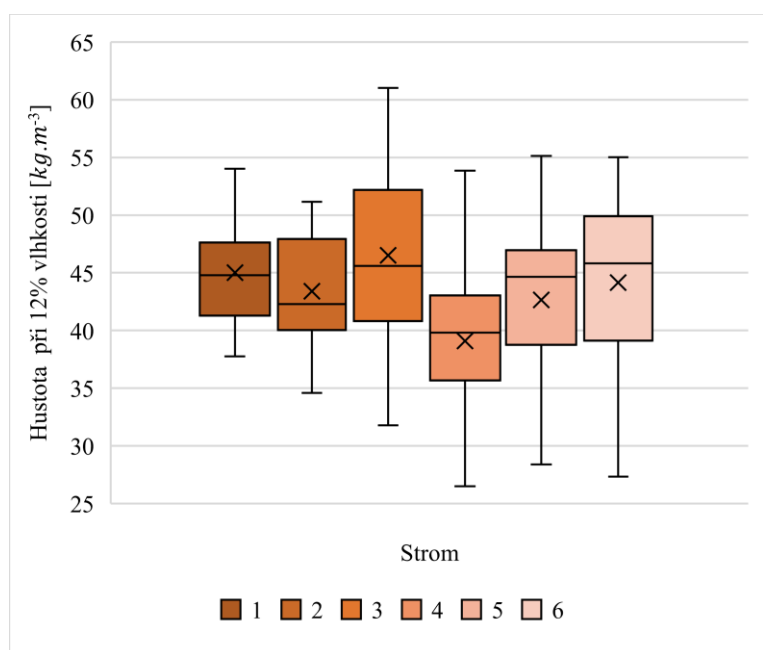
Příloha č.2: Hustota při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle obrovské



Příloha č.3: Porovnání hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle bělokoré

| Strom | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|--------------|----------|-----------------------------|------------|------------|----------|--------------|
| 1 | 69 | 457 | 380 | 580 | 49 | 10,4 |
| 2 | 59 | 430 | 386 | 606 | 46 | 10,3 |
| 3 | 41 | 427 | 361 | 546 | 49 | 11,4 |
| 4 | 44 | 461 | 395 | 555 | 37 | 8,0 |
| 5 | 49 | 484 | 396 | 607 | 39 | 8,0 |

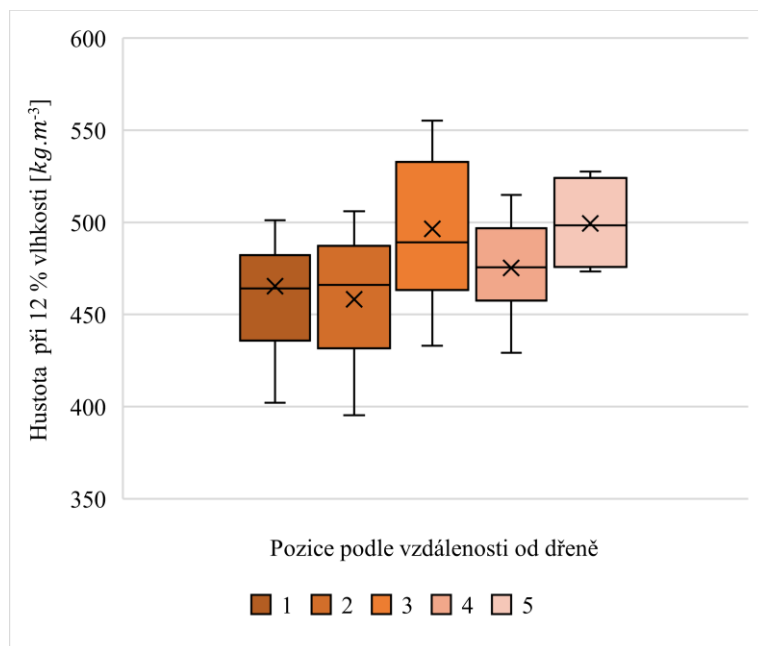
Příloha č.4: Hustota při 12% vlhkosti jednotlivých stromů jedle bělokoré



Příloha č.5: Porovnání hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých stromů smrku ztepilého

| Strom | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|--------------|----------|-----------------------------|------------|------------|----------|--------------|
| 1 | 32 | 448 | 401 | 522 | 34 | 7,4 |
| 2 | 32 | 423 | 371 | 495 | 35 | 8,1 |
| 3 | 49 | 452 | 354 | 533 | 47 | 10,7 |
| 4 | 45 | 407 | 352 | 465 | 25 | 6,1 |
| 5 | 39 | 434 | 367 | 560 | 34 | 7,7 |
| 6 | 61 | 439 | 367 | 532 | 40 | 9,0 |

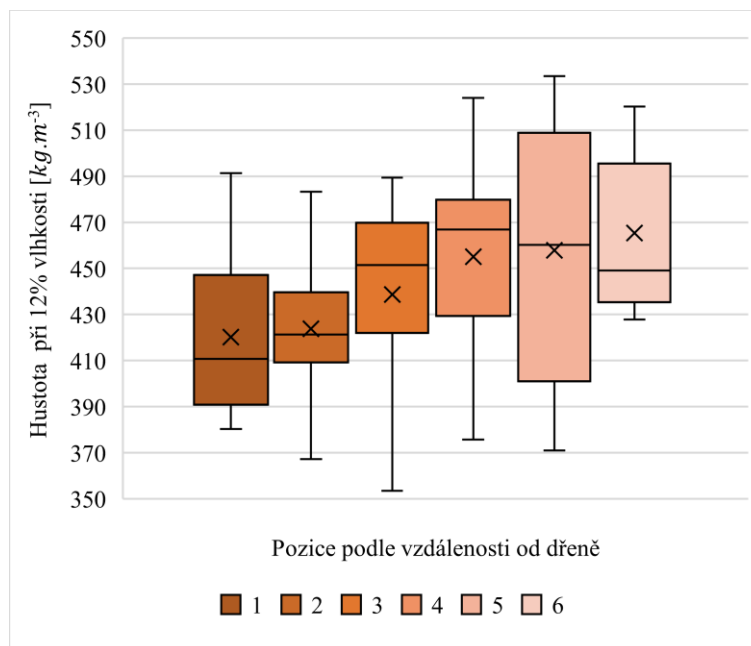
Příloha č.6: Hustota při 12% vlhkosti jednotlivých stromů smrku ztepilého



Příloha č.7: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle bělokoré z lokality č.2

| Vzdálenost od dřene | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| 1 | 24 | 464 | 402 | 607 | 44 | 9,5 |
| 2 | 22 | 466 | 395 | 506 | 35 | 7,7 |
| 3 | 24 | 489 | 433 | 555 | 37 | 7,5 |
| 4 | 18 | 476 | 429 | 515 | 26 | 5,5 |
| 5 | 4 | 498 | 473 | 528 | 22 | 4,4 |

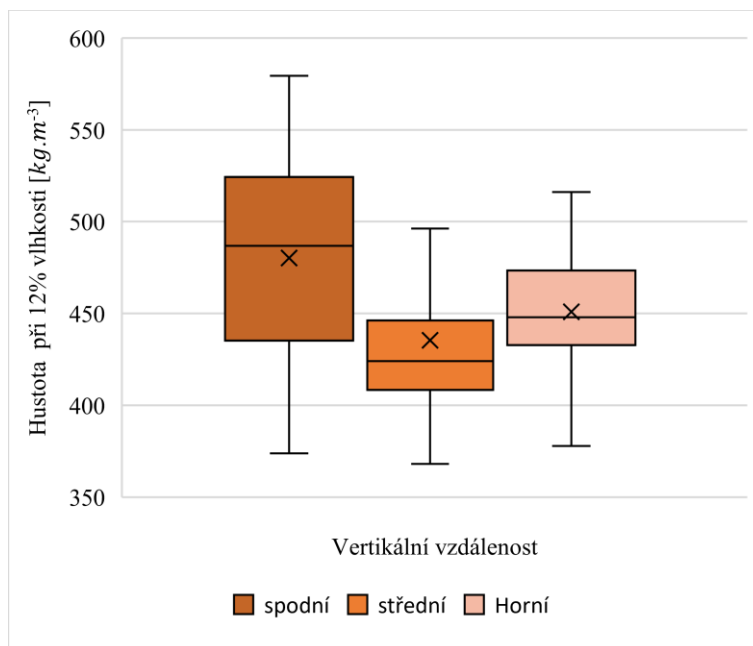
Příloha č.8: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřene jedle bělokoré z lokality č.2



Příloha č.9: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřevě smrku ztepilého z lokality č.1

| Vzdálenost od dřevě | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| 1 | 21 | 411 | 380 | 491 | 32 | 7,6 |
| 2 | 23 | 421 | 367 | 483 | 28 | 6,7 |
| 3 | 23 | 452 | 354 | 489 | 40 | 9,2 |
| 4 | 20 | 467 | 376 | 524 | 41 | 9,1 |
| 5 | 14 | 460 | 371 | 533 | 52 | 11,4 |
| 6 | 7 | 449 | 428 | 520 | 34 | 7,3 |

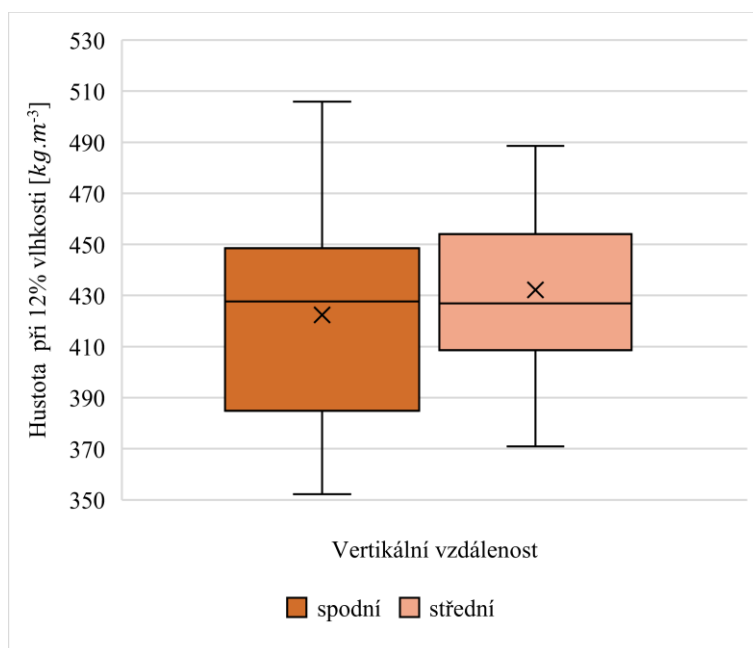
Příloha č.10: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od dřevě smrku ztepilého z lokality č.1



Příloha č.11: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| Spodní | 40 | 487 | 374 | 580 | 57 | 11,8 |
| Střední | 75 | 424 | 368 | 606 | 46 | 10,5 |
| Horní | 53 | 448 | 361 | 546 | 38 | 8,5 |

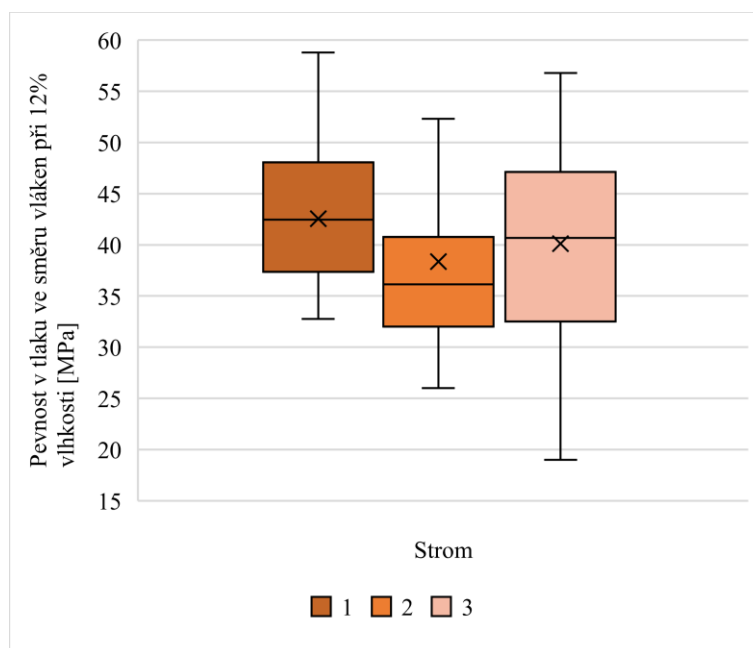
Příloha č.12: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1



Příloha č.13: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|-----|-----|----|-------|
| Spodní | 47 | 428 | 352 | 506 | 41 | 9,8 |
| Střední | 98 | 427 | 371 | 560 | 33 | 7,7 |

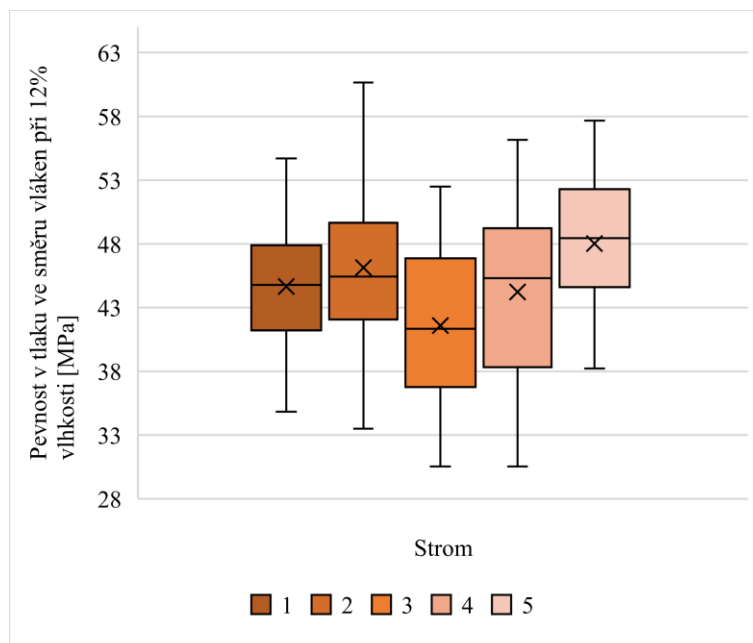
Příloha č.14: Hustota při 12% vlhkosti v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.2



Příloha č.15: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle obrovské

| Strom | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|-------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 34 | 42,5 | 32,8 | 58,8 | 6,4 | 15,1 |
| 2 | 35 | 36,2 | 26,0 | 63,9 | 9,7 | 25,2 |
| 3 | 70 | 40,7 | 19,0 | 56,8 | 8,5 | 21,3 |

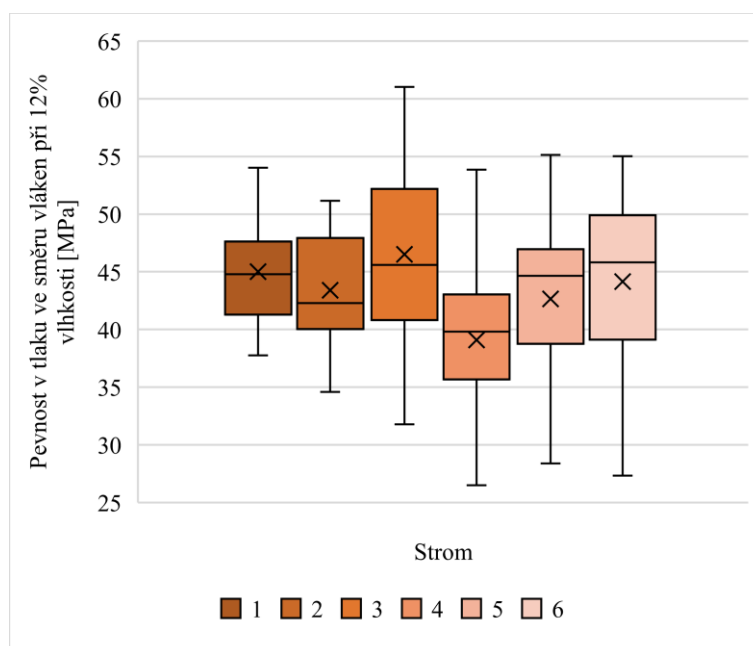
Příloha č.16: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle obrovské



Příloha č.17: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle bělokoré

| Strom | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|-------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 69 | 44,8 | 34,8 | 54,7 | 5,0 | 11,2 |
| 2 | 59 | 45,4 | 18,9 | 83,0 | 8,5 | 18,4 |
| 3 | 41 | 41,3 | 30,5 | 52,5 | 5,8 | 14,0 |
| 4 | 44 | 45,3 | 30,6 | 56,2 | 6,9 | 15,7 |
| 5 | 49 | 48,5 | 38,2 | 57,7 | 4,8 | 10,1 |

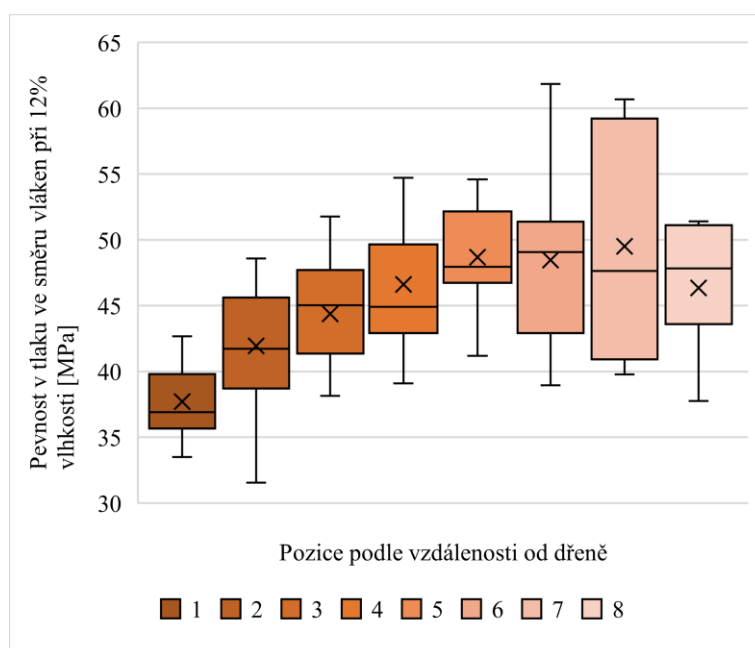
Příloha č.18: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů jedle bělokoré



Příloha č.19: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů smrku ztepilého

| Strom | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|-------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 32 | 44,8 | 37,8 | 54,0 | 4,2 | 9,4 |
| 2 | 32 | 42,3 | 34,6 | 51,2 | 4,7 | 10,9 |
| 3 | 49 | 45,6 | 31,8 | 61,0 | 7,6 | 16,3 |
| 4 | 45 | 39,8 | 23,0 | 54,5 | 7,2 | 18,5 |
| 5 | 39 | 44,7 | 20,7 | 55,1 | 7,1 | 16,6 |
| 6 | 61 | 45,8 | 27,3 | 55,0 | 6,9 | 15,6 |

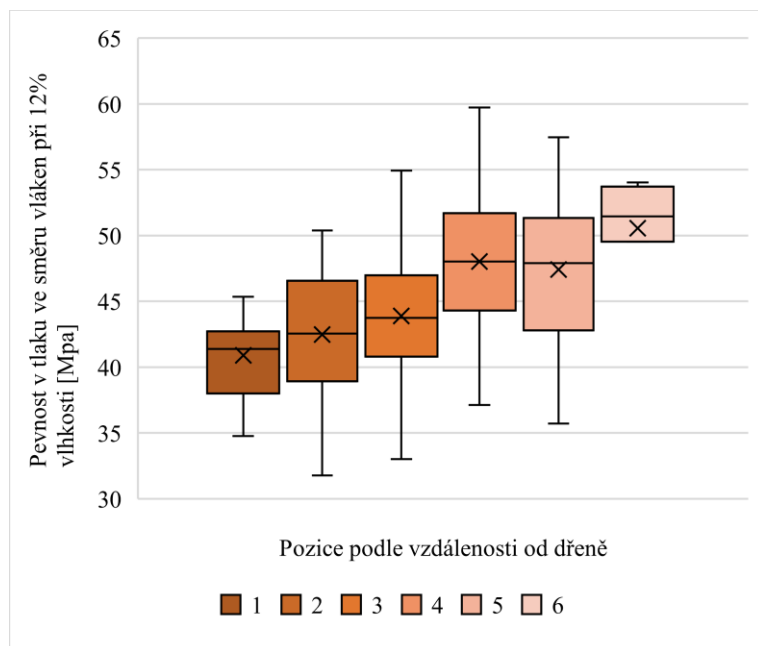
Příloha č.20: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken jednotlivých stromů smrku ztepilého



Příloha č.21: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřevě u jedle bělokoré z lokality č.1

| Vzdálenost od dřevě | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 29 | 36,9 | 33,5 | 42,7 | 2,7 | 7,2 |
| 2 | 29 | 41,4 | 31,5 | 48,6 | 4,2 | 10,1 |
| 3 | 29 | 44,9 | 30,5 | 51,8 | 4,2 | 9,5 |
| 4 | 25 | 44,9 | 18,9 | 83,0 | 9,9 | 21,3 |
| 5 | 23 | 48,0 | 41,2 | 54,6 | 3,4 | 7,1 |
| 6 | 17 | 49,1 | 39,0 | 61,8 | 6,2 | 12,7 |
| 7 | 8 | 47,6 | 39,8 | 60,7 | 8,0 | 4,5 |
| 8 | 7 | 47,8 | 37,8 | 51,4 | 4,5 | 1,6 |

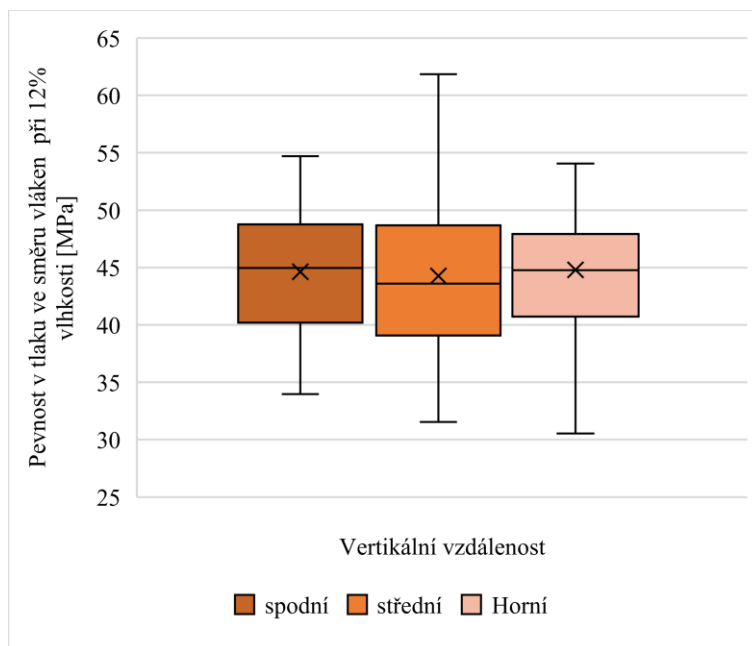
Příloha č.22: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřevě u jedle bělokoré z lokality č.1



Příloha č.23: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.1

| Vzdálenost od dřene | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|---------------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| 1 | 21 | 41,4 | 34,8 | 52,2 | 3,7 | 9,1 |
| 2 | 22 | 43,0 | 31,8 | 50,4 | 4,6 | 10,7 |
| 3 | 23 | 43,7 | 33,0 | 54,9 | 4,9 | 11,1 |
| 4 | 20 | 48,0 | 37,1 | 59,7 | 5,0 | 10,5 |
| 5 | 14 | 47,9 | 35,7 | 57,5 | 5,7 | 12,0 |
| 6 | 7 | 51,4 | 41,6 | 54,0 | 4,0 | 7,9 |

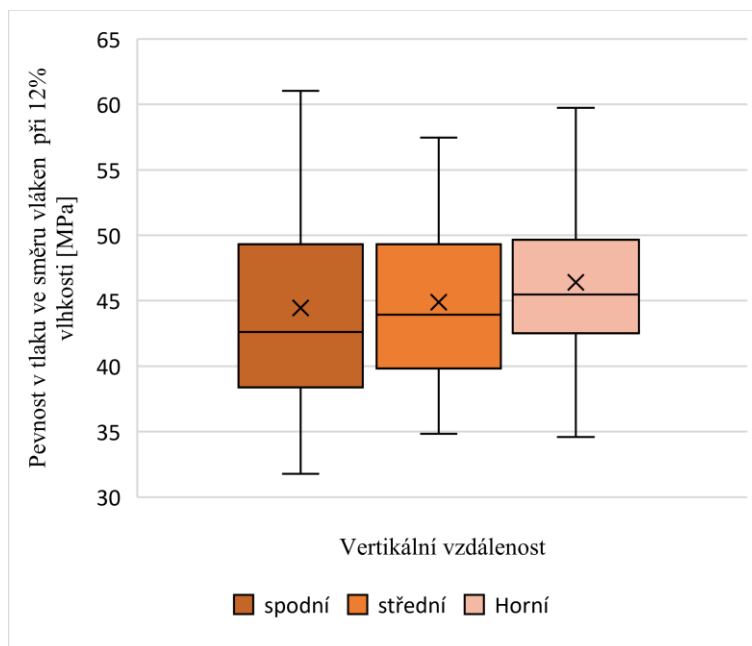
Příloha č.24: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vzdálenosti od dřene u smrku ztepilého z lokality č.1



Příloha č.25: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| Spodní | 40 | 45,0 | 34,0 | 54,7 | 5,4 | 12,1 |
| Střední | 75 | 43,6 | 18,9 | 61,8 | 7,2 | 16,2 |
| Horní | 53 | 44,8 | 30,5 | 83,0 | 7,3 | 16,4 |

Příloha č.26: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u jedle bělokoré z lokality č.1



Příloha č.27: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1

| Pozice v kmeni | N | \bar{x} | Min | Max | S | V [%] |
|----------------|----|-----------|------|------|-----|-------|
| Spodní | 34 | 42,6 | 31,8 | 61,0 | 7,5 | 17,0 |
| Střední | 45 | 43,9 | 34,8 | 57,5 | 5,7 | 12,7 |
| Horní | 34 | 45,5 | 34,6 | 59,7 | 5,0 | 10,7 |

Příloha č.28: Porovnání pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na vertikální vzdálenosti u smrku ztepilého z lokality č.1